Betriebsanleitung

GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR

Image Engineering GmbH & Co KG

Projektname: **GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR**

Handelsname: **GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR**
Produktname: **GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR**

Artikelnummer: 100200215 / 100200217 / 100205016

Hersteller: Image Engineering GmbH & Co. KG

Im Gleisdreieck 5

DE 50169 Kerpen

Telefon +49 2273 99 99 10

Fax +49 2273 99 99 1-10

info@image-engineering.de

https://www.image-engineering.de

Revisionsindex: 0007
Revisionsdatum: 2026-08-31

Inhaltsverzeichnis

1 Zu dieser Betriebsanleitung 6

1.1 Allgemeine Hinweise 6

1.2 Darstellung von Informationen 6

Aufbau der Handlungsanweisungen 6

Aufbau der Warnhinweise 7

Verwendete Fachbegriffe und Abkürzungen 8

2 Allgemeine Sicherheitsbestimmungen 9

2.1 Grundsätze 9

2.2 Bestimmungsgemäße Verwendung 9

2.3 Vorhersehbare Fehlanwendung 10

2.4 Sicherheitsbestimmungen 11

Allgemeines 11

Im Betrieb 11

Pflege-, Wartungs- und Inspektionsarbeiten 12

2.5 Restrisiken 12

2.6 Auswahl und Qualifikation des Personals 12

2.7 Sicherheitskennzeichnung 12

3 Lieferumfang des Geräts 14

4 Aufbau und Funktion 15

4.1 Gesamtübersicht 15

4.2 Baugruppe 1 – Elektronikeinheit 15

4.3 Baugruppe 2 – Optikeinheit 16

4.4 Baugruppe 3 – DOE und DOE-Halter 16

4.5 Schnittstellen und Anforderungen an die Spannungsversorgung 16

4.6 Funktionsschema / Funktionsablauf 17

5 Transport und Lagerung 18

5.1 Transport 18
Anforderungen an den Aufstellort 18
Gerät transportieren 18
5.2 Lagerung 19
Anforderungen an den Lagerort 19
6 Aufstellung und Inbetriebnahme 20
6.1 Aufstellung 20
Spannungsversorgung herstellen 20
6.2 Inbetriebnahme 20
6.3 Optionale Modifikation für den Einsatz in Fertigungslinien 21
7 Bedien- und Anzeigeelemente 22
7.1 Bedienelemente am Gerät 22
8 Gerät bedienen 23
8.1 Gerät betreiben 23
8.2 Gerät ausschalten 28
9 Unterschiede zwischen den GEOCAL-Varianten 29
9.1 Warum eine größere Version des GEOCAL? 29
9.2 Warum eine Infrarot-Version des GEOCAL? 30
10 GEOCAL-Software 31
10.1 Installation 31
10.2 Übersicht 31
10.3 Geometrische Kalibrierung durchführen 32
10.4 Zwei Bilder zusammenführen („Merge two images“) 35
10.5 Numerische und grafische Ergebnisse 38
10.6 Punktgitter exportieren 48
10.7 Ergebnisse speichern 50
10.8 Log 50
10.9 Beenden („Exit“) 50

10.10 Künstlich erzeugte Beispielbilder 50

10.11 Konfiguration 51

Bereich „Configuration“ (Konfiguration) 51

Eigene Konfiguration erstellen 55

10.12 Verzeichnungsmodelle 55

10.13 Verzeichnungskorrektur von Bildern (Undistortion) 57

11 Kommandozeilen-Schnittstelle (CLI) 59

12 Störungsbehebung 60

12.1 Vorgehen bei Störungen oder Fehlern 60

12.2 Stör- und Fehlermeldungen 60

12.3 Störungen beseitigen 60

13 Pflegehinweise und Entsorgung 61

13.1 Pflege 61

13.2 Entsorgung und Recycling 61

14 Technische Daten 62

15 Anhang 64

15.1 Serviceadressen 64

1 Zu dieser Betriebsanleitung

Sie müssen diese Betriebsanleitung lesen, bevor Sie GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR (im Folgenden GEOCAL genannt, sofern nicht eine bestimmte Variante gemeint ist) zum ersten Mal in Betrieb nehmen oder sonstige Arbeiten an GEOCAL durchführen.

Beachten Sie insbesondere **Kapitel 2 „Allgemeine Sicherheitsbestimmungen“.**

1.1 Allgemeine Hinweise

Diese Anleitung soll es Ihnen erleichtern, GEOCAL kennenzulernen und bestimmungsgemäß einzusetzen.

HINWEIS

Alle in dieser Anleitung beschriebenen Vorgehensweisen zum Umgang mit GEOCAL gelten gleichermaßen für GEOCAL, GEOCAL XL und GEOCAL IR.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten sind in Kapitel 9 „Unterschiede zwischen den GEOCAL-Varianten“ beschrieben.

Die Betriebsanleitung enthält wichtige Hinweise, um GEOCAL sicher und sachgerecht zu betreiben. Ihre Beachtung hilft:

- Gefahren zu vermeiden
- Reparaturkosten und Ausfallzeiten zu verringern
- die Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Produkts zu erhöhen

Diese Anleitung ist von jeder Person zu lesen und anzuwenden, die mit Arbeiten an GEOCAL beauftragt ist.

Neben dieser Betriebsanleitung sind außerdem die im Verwenderland und an der Einsatzstelle geltenden Regelungen zur Unfallverhütung und zum Umweltschutz zu beachten.

1.2 Darstellung von Informationen

Aufbau der Handlungsanweisungen

Handlungsanweisungen gliedern sich in:

- Handlungsschritte
- Ergebnisse der Handlungen

- Anwendungstipps für den optimalen Einsatz

Jede Information ist durch ein Symbol gekennzeichnet:

Symbol	Bedeutung
1. 2. 3.	Handlungsschritte: Diese Handlungsschritte sind fortlaufend nummeriert und müssen in der angegebenen Reihenfolge von oben nach unten ausgeführt werden.
✓	Ergebnissymbol: Der Text nach diesem Symbol beschreibt das Ergebnis oder Zwischenergebnis einer Handlung.
TIPP:	Anwendungstipp: Zusätzliche Informationen zur optimalen Nutzung des Produkts.

Tab. 1.1 Bedeutung der Symbole

Aufbau der Warnhinweise

Signalwort	Verwendung bei …	Mögliche Folgen bei Nichtbeachtung der Sicherheitshinweise:
GEFAHR	Personenschäden (unmittelbar drohende Gefahr)	Tod oder schwere Verletzungen!
WARNUNG	Personenschäden (möglicherweise gefährliche Situation)	Tod oder schwere Verletzungen!
VORSICHT	Personenschäden	Leichte oder geringfügige Verletzungen!
HINWEIS	Sachschäden	Schäden am Gerät und in der Umgebung

Tab. 1.2 Warnstufen

Die Warnhinweise sind wie folgt aufgebaut:

- Warnzeichen mit Signalwort entsprechend der Warnstufe
- Art der Gefahr (Beschreibung der Gefahr)
- Gefahrenfolgen (Beschreibung der Folgen der Gefahr)
- Gefahrenabwehr (Maßnahmen zur Abwehr der Gefahr)

Gefahr!

Art der Gefahr

Gefahrenfolgen

Gefahrenabwehr

An den betreffenden Stellen stehen besondere Warnhinweise. Sie sind mit den folgenden Symbolen gekennzeichnet.

Allgemeiner Gefahrenbereich
Dieses Zeichen warnt vor Personenschäden.

Liegt eine eindeutige Gefahrenquelle vor, steht eines der folgenden Symbole davor.

Laserstrahlung
Dieses Zeichen warnt vor sichtbarer oder unsichtbarer Laserstrahlung

Verwendete Fachbegriffe und Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
DOE	Diffraktives optisches Element, Beugungsgitter
DUT	Device under Test (Prüfling)
ROI	Region of Interest (Auswertebereich)

Tab. 1.3 Verwendete Abkürzungen

2 Allgemeine Sicherheitsbestimmungen

2.1 Grundsätze

Stellen Sie vor der Inbetriebnahme des Geräts sicher, dass das Gerät:

1. sich visuell in einwandfreiem Zustand befindet
2. sicher auf einer ebenen und waagerechten Fläche steht

Stellen Sie vor dem Einschalten des Geräts sicher, dass sich vor dem Gerät keine optischen Instrumente/Linsen befinden, die das ausgesendete Licht auf einen Punkt fokussieren.

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung
der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

Wichtiger Hinweis:
Lesen Sie diese Anleitung sorgfältig, bevor Sie dieses Gerät verwenden. Unsachgemäße Verwendung kann zu Schäden am Gerät, am Prüfling und/oder an weiteren Komponenten Ihres Messaufbaus führen. Bewahren Sie diese Anleitung sorgfältig auf und geben Sie sie an künftige Anwender weiter.

2.2 Bestimmungsgemäße Verwendung

GEOCAL dient der geometrischen Kalibrierung von Kamerasystemen mithilfe eines aus dem Unendlichen projizierten Lichtpunktgitters. GEOCAL stellt die Hardwarebasis bereit, mit der das Kalibriermuster aufgenommen werden kann. Die Auswertung der aufgenommenen Bilder erfolgt mit der mitgelieferten Software. Das Gerät darf nur in Innenräumen betrieben werden.

2.3 Vorhersehbare Fehlanwendung

1. Betrieb von GEOCAL auf einer geneigten oder beweglichen Fläche (Absturz- bzw. Kippgefahr)

VORSICHT!

Quetschgefahr durch Herabfallen des Geräts

Stellen Sie GEOCAL ausschließlich auf stabile, ebene und waagerechte Flächen.

2. Längeres Blicken in die Optik oder in das DOE des GEOCAL
3. Ausbau des diffraktiven optischen Elements (DOE) durch den Anwender
4. Blick in den Strahl mit optischen Instrumenten (Refokussierung des Laserlichts auf die Netzhaut)

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

5. Öffnen des Gehäuses und dadurch Freilegen des Lasers (Gefahr für die Augen, Auswirkungen auf die Umgebung durch Laserstrahlung)
6. Demontage der Optik und dadurch Freilegen des Lasers (Gefahr für die Augen, Auswirkungen auf die Umgebung durch Laserstrahlung)

WARNUNG!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung der Laserklasse 3B bei geöffnetem Gehäuse

Unmittelbare Gefahr für das menschliche Auge

Das Gehäuse darf keinesfalls geöffnet werden!

7. Spannungsversorgung außerhalb der von IE festgelegten Spezifikation (z. B. Verwendung eines falsch eingestellten Universalnetzteils).

   Im Lieferumfang von GEOCAL ist kein Netzteil enthalten.

Beachten Sie bei der Auswahl eines Netzteils die nachfolgenden Anforderungen:

Spannungsversorgung:

Grenzwerte:	+5 VDC, min. 4 A
empfohlen:	+5 VDC, 25 W
Schutzeinrichtungen:	2x Means of Patient Protection (MOPP, nach IEC 60601)
Anschlussstecker:	DC-Hohlstecker 2,1 mm Innendurchmesser 5,5 mm Außendurchmesser

Empfohlenes Netzteil: Mean Well GSM40A05-P1J

2.4 Sicherheitsbestimmungen

Allgemeines

VORSICHT!

Gerät nicht öffnen!

Das Gerät ist wartungsfrei und darf vom Anwender nicht geöffnet werden.

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung
der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

WARNUNG!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung der Laserklasse 3B bei geöffnetem Gehäuse

Unmittelbare Gefahr für das menschliche Auge

Das Gehäuse darf keinesfalls geöffnet werden!

Im Betrieb

Stellen Sie vor dem Einschalten des Geräts sicher, dass sich vor dem Gerät keine optischen Instrumente/Linsen befinden, die das ausgesendete Licht auf einen Punkt fokussieren.

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

Pflege-, Wartungs- und Inspektionsarbeiten

Das Gerät ist wartungsfrei.

Eventuell erforderliche Reparaturen dürfen ausschließlich von Image Engineering und von Image Engineering beauftragtem Fachpersonal durchgeführt werden.

2.5 Restrisiken

Trotz aller Maßnahmen zur Vermeidung oder Minderung von Risiken verbleibt bei der Verwendung von GEOCAL ein geringes Restrisiko.
Stellen Sie daher sicher, dass Sie und alle weiteren Anwender die Sicherheitshinweise in dieser Betriebsanleitung befolgen.

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

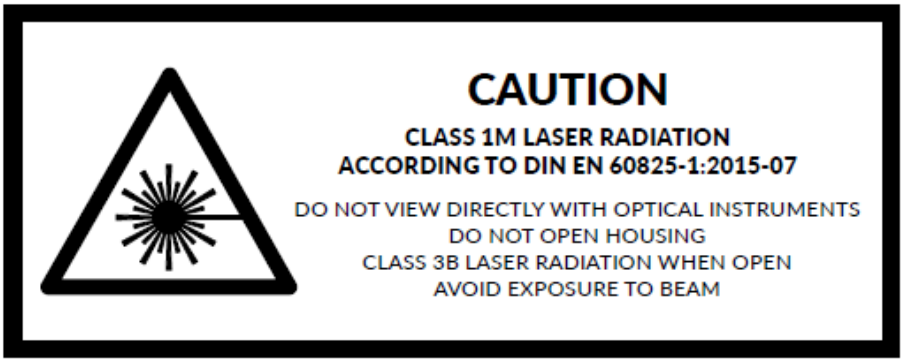
Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

2.6 Auswahl und Qualifikation des Personals

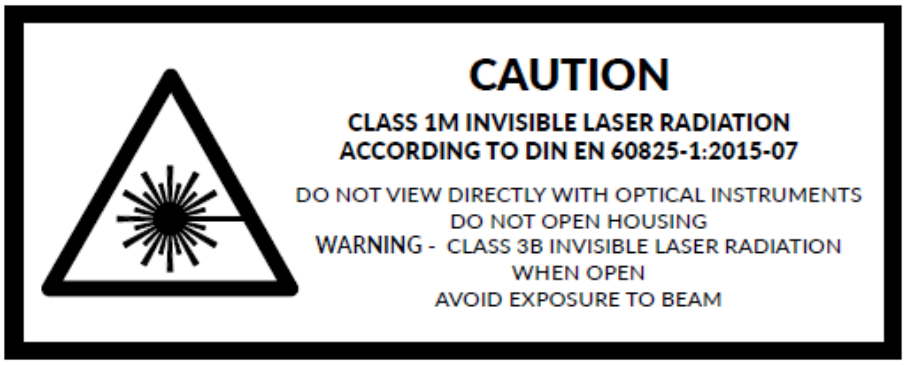
GEOCAL darf nur von Personen bedient werden, die diese Betriebsanleitung sorgfältig gelesen haben.

2.7 Sicherheitskennzeichnung

Der folgende Warnhinweis ist seitlich am Gehäuse von GEOCAL und GEOCAL XL angebracht:



Der folgende Warnhinweis ist seitlich am Gehäuse von GEOCAL IR angebracht:



Im geschlossenen Zustand (Auslieferungszustand) sind alle Varianten Produkte der Laserklasse 1M.

WARNUNG:
Bei geöffnetem Gehäuse handelt es sich um Produkte der Laserklasse 3B. Das Gehäuse darf keinesfalls geöffnet werden.

3 Lieferumfang des Geräts

GEOCAL wird vollständig montiert ausgeliefert.

Im Lieferumfang enthalten sind:

- GEOCAL-Hardware
- die aktuelle Softwareversion auf einem USB-Speichermedium
- USB-Kabel (Typ B auf Typ A)
- Abnahmeprotokoll
- Betriebsanleitung in gedruckter Form

HINWEIS
Das Tischnetzteil ist nicht Bestandteil des Produkts und muss separat beschafft werden.

Beachten Sie bei der Auswahl eines Netzteils die Anforderungen und Empfehlungen in **Kapitel 4.5 – Schnittstellen und Anforderungen an die Spannungsversorgung**

4 Aufbau und Funktion

4.1 Gesamtübersicht

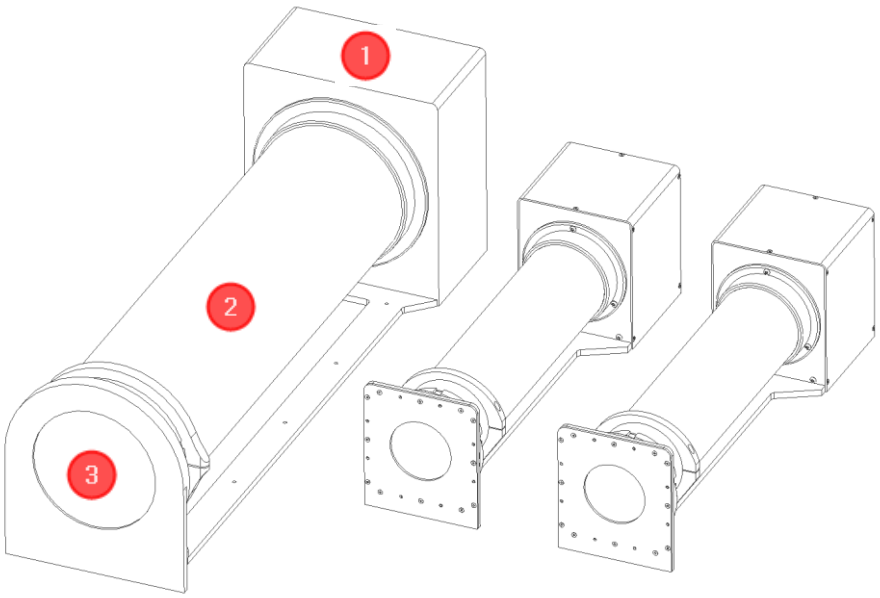


Abb. 4.1 von links nach rechts – GEOCAL XL, GEOCAL, GEOCAL IR

1. Baugruppe 1 – Elektronikeinheit
2. Baugruppe 2 – Optikeinheit
3. Baugruppe 3 – DOE und DOE-Halter

4.2 Baugruppe 1 – Elektronikeinheit

Baugruppe 1 enthält die gesamte für den Betrieb von GEOCAL erforderliche Elektronik.

Dies sind

- Laserdiode
- Lasertreiber
- USB-Schnittstelle
- Netzanschlussbuchse

- Kontrollleuchte auf der Rückseite
- Hauptschalter

4.3 Baugruppe 2 – Optikeinheit

Baugruppe 2 ist die Optik, mit der der Laserstrahl auf den Austrittsdurchmesser aufgeweitet und kollimiert wird.

4.4 Baugruppe 3 – DOE und DOE-Halter

Baugruppe 3 besteht aus DOE und DOE-Halter. Der aufgeweitete und kollimierte Laserstrahl trifft von innen auf das DOE. Das einfallende Licht wird durch die fein geätzte Struktur des DOE gezielt abgelenkt, sodass durch konstruktive und destruktive Interferenz das für die Kalibrierung erforderliche Lichtpunktgitter entsteht.

4.5 Schnittstellen und Anforderungen an die Spannungsversorgung

GEOCAL verfügt auf der Rückseite des Gehäuses über eine USB-Schnittstelle Typ B und eine Netzanschlussbuchse.

USB-Schnittstelle:
Derzeit ohne Funktion.

Netzanschlussbuchse:
GEOCAL verfügt über eine Netzanschlussbuchse für einen Hohlstecker (Innendurchmesser: 2,1 mm, Außendurchmesser: 5,5 mm), z. B. Mean Well Typ P1J.

Im Lieferumfang von GEOCAL ist kein Netzteil enthalten. Beachten Sie bei der Auswahl eines Netzteils die nachfolgenden Anforderungen:

Spannungsversorgung:

Empfohlen: +5 VDC, 25 W

Schutzeinrichtungen:	2x Means of Patient Protection (MOPP, nach IEC 60601)
Anschlussstecker:	DC-Hohlstecker 2,1 mm Innendurchmesser 5,5 mm Außendurchmesser
Empfohlenes Netzteil:	Mean Well GSM40A05-P1J

HINWEIS
Das Tischnetzteil ist nicht Bestandteil des Produkts und muss separat beschafft werden.

Beachten Sie bei der Auswahl eines Netzteils die Anforderungen und Empfehlungen in Kapitel 4.5 – Schnittstellen und Anforderungen an die Spannungsversorgung

4.6 Funktionsschema / Funktionsablauf

Der Einsatz von GEOCAL lässt sich schematisch wie folgt darstellen.

1. GEOCAL einschalten
2. Kamera / Prüfling (DUT) auf einem Stativ o. Ä. vor dem GEOCAL positionieren
3. Eine oder mehrere Aufnahmen des von GEOCAL erzeugten Punktgitters erstellen
4. Die aufgenommenen Bilder in die GEOCAL-Software importieren
5. Entweder eine Standard-Konfigurationsdateie laden oder diese an Ihre Anforderungen anpassen
6. Die Detektion der in der Software angezeigten Punkte durchführen
7. Die Analyse der aufgenommenen Bilder durchführen
8. Die Ergebnisse als .CSV oder .XML speichern

Weitere Informationen zur Erstellung der Aufnahmen und zur Verwendung der Software finden Sie im weiteren Verlauf dieser Betriebsanleitung.

5 Transport und Lagerung

5.1 Transport

Anforderungen an den Aufstellort

GEOCAL darf nur in Innenräumen betrieben werden.
Stellen Sie GEOCAL auf eine stabile, ebene und nicht geneigte Fläche

Um die Anstoßgefahr zu minimieren, benötigt GEOCAL eine Mindeststellfläche von ca. 85 x 25 cm (GEOCAL XL) bzw. 58 x 15 cm (GEOCAL / GEOCAL IR).

VORSICHT!

Verlust der Standsicherheit

Kippen des Geräts durch Aufstellung auf einer geneigten oder beweglichen Fläche

Herabfallen des Geräts durch Anstoßen

Beachten Sie die vorstehenden Hinweise zur Inbetriebnahme

Gerät transportieren

Entfernen Sie vor dem Transport von GEOCAL alle Kabel vom Gerät.
Über kurze Strecken kann GEOCAL innerhalb von Gebäuden von Hand transportiert werden. Tragen Sie GEOCAL jedoch stets mit beiden Händen, um ein Herabfallen des Geräts und Quetschverletzungen zu vermeiden.

VORSICHT!

Herabfallen des Geräts, Quetschgefahr

Tragen Sie das Gerät nicht mit einer Hand und heben Sie es nicht am DOE-Halter an!

Tragen Sie GEOCAL stets mit beiden Händen oder transportieren Sie es im mitgelieferten Koffer.

5.2 Lagerung

Anforderungen an den Lagerort

- Temperaturbereich: +15 bis +35 °C
- Keine direkte, dauerhafte UV-Strahlung
- Sand- und staubfreie Umgebung
- Rel. Luftfeuchte: max. 75 %, nicht kondensierend

6 Aufstellung und Inbetriebnahme

6.1 Aufstellung

GEOCAL darf nur in Innenräumen betrieben werden.
Stellen Sie GEOCAL auf eine stabile, ebene und nicht geneigte Fläche

Um die Anstoßgefahr zu minimieren, benötigt GEOCAL eine Mindeststellfläche von ca. 85 x 25 cm (GEOCAL XL) bzw. 58 x 15 cm (GEOCAL / GEOCAL IR).

VORSICHT!

Verlust der Standsicherheit

Kippen des Geräts durch Aufstellung auf einer geneigten oder beweglichen Fläche

Herabfallen des Geräts durch Anstoßen

Beachten Sie die vorstehenden Hinweise zur Inbetriebnahme

Spannungsversorgung herstellen

Schließen Sie GEOCAL über ein geeignetes Netzteil und ein Netzkabel an das Stromnetz an.

HINWEIS
Beeinträchtigung der Funktion oder Zerstörung des Geräts durch Verwendung eines Netzteils außerhalb der Spezifikation

HINWEIS
Das Tischnetzteil ist nicht Bestandteil des Produkts und muss separat beschafft werden.

Beachten Sie bei der Auswahl eines Netzteils die Anforderungen und Empfehlungen in **Kapitel 4.5 – Schnittstellen und Anforderungen an die Spannungsversorgung**

6.2 Inbetriebnahme

Sobald die Spannungsversorgung hergestellt ist und die blaue Kontroll-LED auf der Gehäuserückseite leuchtet, ist GEOCAL betriebsbereit.

Die mitgelieferte Software wird nur für die Auswertung der erstellten Aufnahmen benötigt, nicht für den Betrieb der Hardware.

Betätigen Sie zur Inbetriebnahme von GEOCAL den Ein-/Ausschalter auf der Gehäuserückseite.

VORSICHT!

Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung
der Laserklasse 1M

Gefahr für das menschliche Auge bei Refokussierung

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten!

6.3 Optionale Modifikation für den Einsatz in Fertigungslinien

Standardmäßig lässt sich GEOCAL nicht allein über die Spannungsversorgung ein- und ausschalten, auch wenn sich der Netzschalter in Stellung „ON“ befindet. Wenn Sie GEOCAL in einer Fertigungslinie einsetzen möchten, bieten wir die Möglichkeit, das Gerät so zu modifizieren, dass der Schalter zum Ein- und Ausschalten nicht mehr betätigt werden muss.
Nach der Modifikation müssen Sie den Schalter lediglich in die Stellung „ON“ bringen. Das Gerät schaltet sich unmittelbar ein, sobald es mit Spannung versorgt wird, ohne dass der Schalter erneut betätigt werden muss.

Weitere Informationen zu dieser Option erhalten Sie von Image Engineering.

7 Bedien- und Anzeigeelemente

7.1 Bedienelemente am Gerät

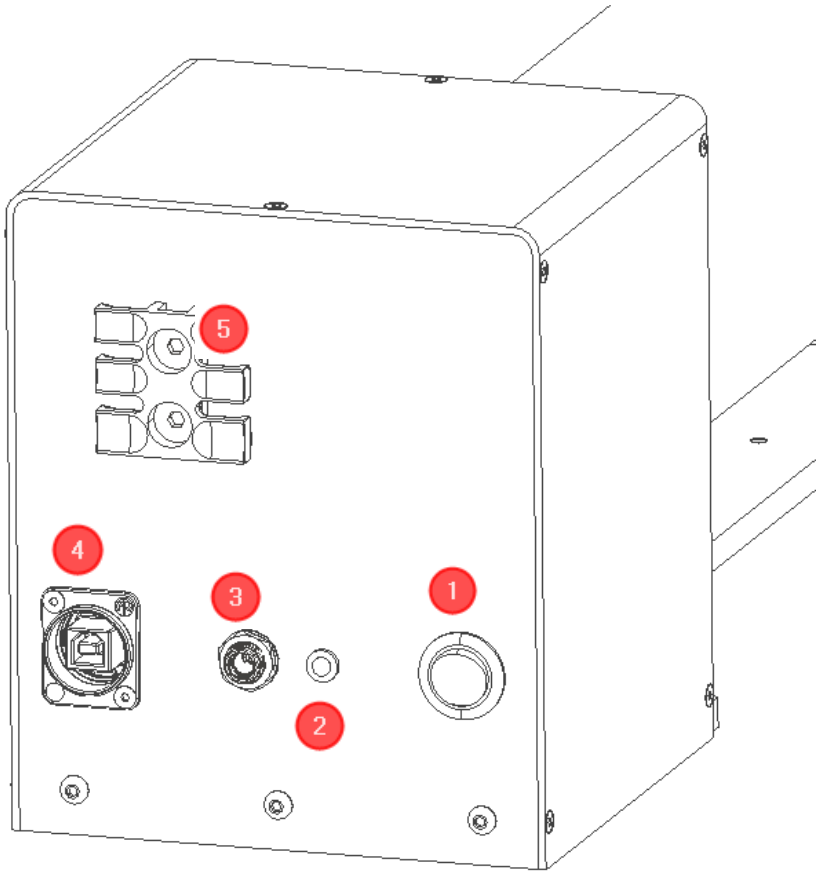


Abb. 7.1 Bedien- und Anzeigeelemente am GEOCAL

1. Hauptschalter
2. Kontroll-LED (blau)
3. Netzanschlussbuchse
4. USB-Schnittstelle Typ B (für künftige Funktionen reserviert)
5. Zugentlastung für Kabel (nur GEOCAL + GEOCAL IR)

8 Gerät bedienen

8.1 Gerät betreiben

GEOCAL:
GEOCAL ist unmittelbar nach dem Einschalten einsatzbereit. Eine Aufwärmphase ist nicht erforderlich.

Diffraktives optisches Element (DOE):
Ein diffraktives optisches Element (DOE) teilt den einfallenden Lichtstrahl auf und erzeugt ein Kalibriergitter aus gleichmäßig verteilten Lichtpunkten mit einer Wellenlänge von 638 nm (GEOCAL, GEOCAL XL) bzw. 935 nm (GEOCAL IR). Das DOE ist an der Vorderseite des GEOCAL angebracht (sichtbare Glasplatte in der runden Aussparung, siehe Abbildung 8.1.1).

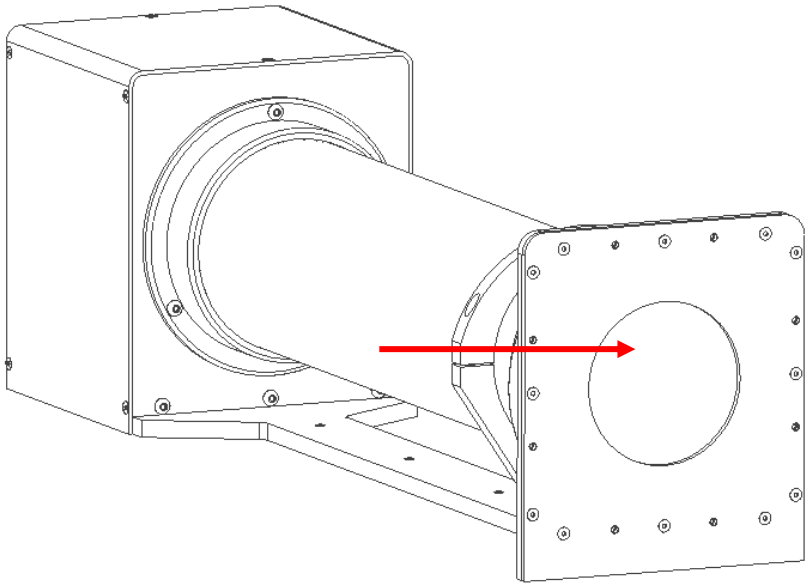


Abb. 8.1.1: DOE

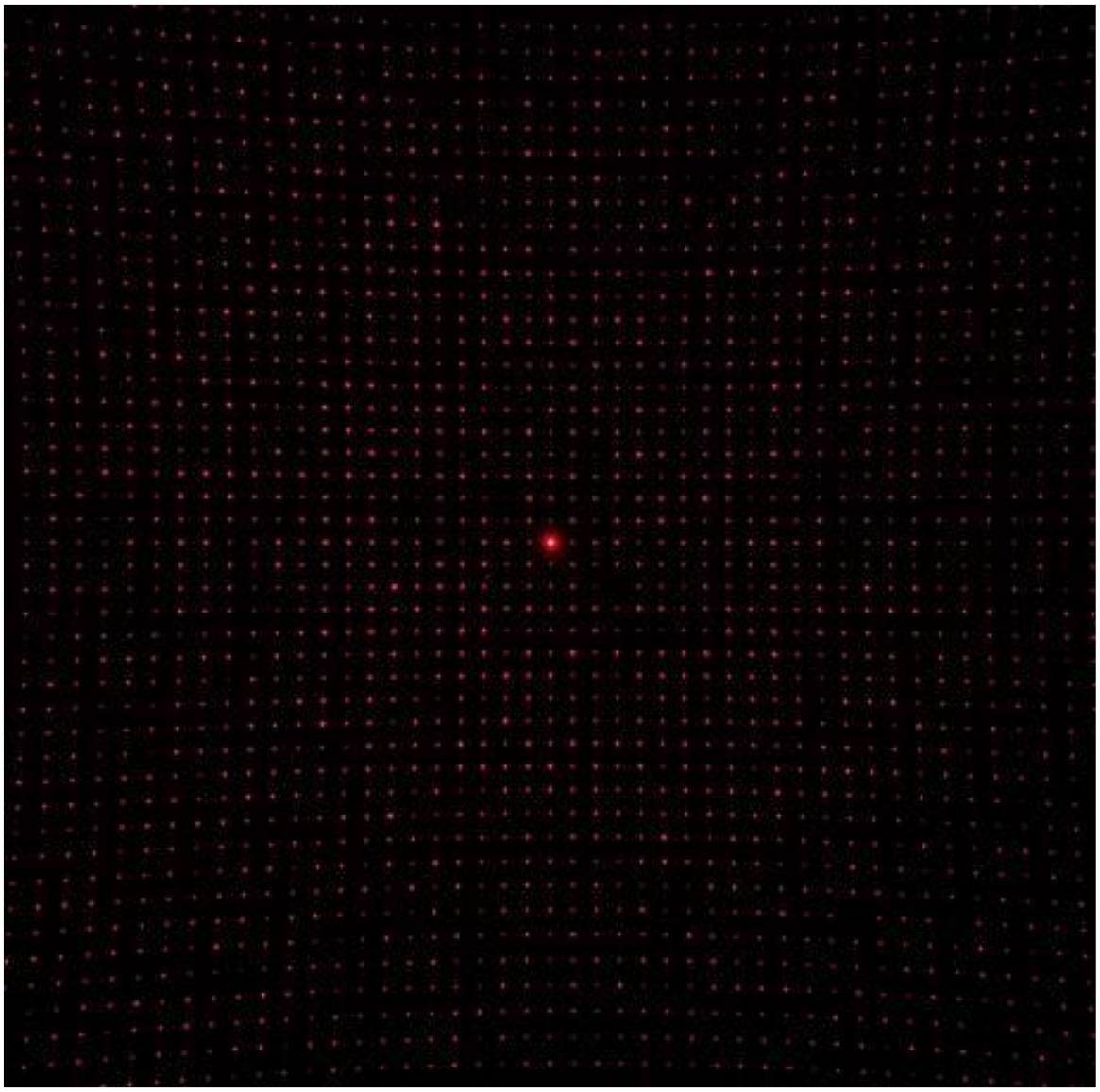


Abb. 8.1.2: Vom DOE erzeugtes Punktgitter. Der hellste Punkt ist die nullte Beugungsordnung und damit das Zentrum des Beugungsmusters.

Kameraeinstellungen:

Stellen Sie die Kamera auf manuelle Belichtung ein. Steht kein manueller Modus zur Verfügung, verwenden Sie die automatische Belichtung. Für optimale Ergebnisse sollte das Bild in einem verlustfreien Format gespeichert werden. Empfohlen wird das TIFF-Format; PNG und JPEG (verlustbehaftet) werden ebenfalls unterstützt. Wenn Sie RAW-Bilddaten in ein anderes Format konvertieren, stellen Sie sicher, dass das Bild demosaikiert bzw. das Bayer-Muster entfernt ist.

Der Autofokus muss ausgeschaltet sein. Da GEOCAL ein kollimiertes Lichtbündel erzeugt, das praktisch aus dem Unendlichen kommt, ist die passende Fokusentfernung unendlich. Achten Sie beim manuellen Fokussieren darauf, dass die Kamera auf die Lichtpunkte scharfgestellt ist.

Belichtungsprogramm	Manuell
Blendenzahl	Keine Vorgabe
ISO-Wert	Kleinstmöglicher Wert (z. B. 50, 100)
Autofokus	AUS
Dateiformat	TIFF empfohlen; PNG, BMP, PGM und JPG werden unterstützt

Kameraposition und geeignete Objektive:

Positionieren Sie die Kamera vor dem DOE in der kreisförmigen Öffnung an der Vorderseite des GEOCAL.

Die Kamera kann direkt vor dem DOE positioniert werden; ein Mindestabstand ist nicht erforderlich (siehe Abbildung 8.2.3 unten). Die optische Achse des Objektivs sollte annähernd senkrecht zum DOE ausgerichtet sein. Dies erreichen Sie, indem Sie die nullte Beugungsordnung – den hellsten Punkt in der Mitte des Gitters – auf die Bildmitte ausrichten. Siehe Abbildung 8.2.4 und 8.2.5 als Referenz. Achten Sie darauf, dass das Punktgitter das gesamte Bild ausfüllt und der Rand des DOE nicht sichtbar ist.

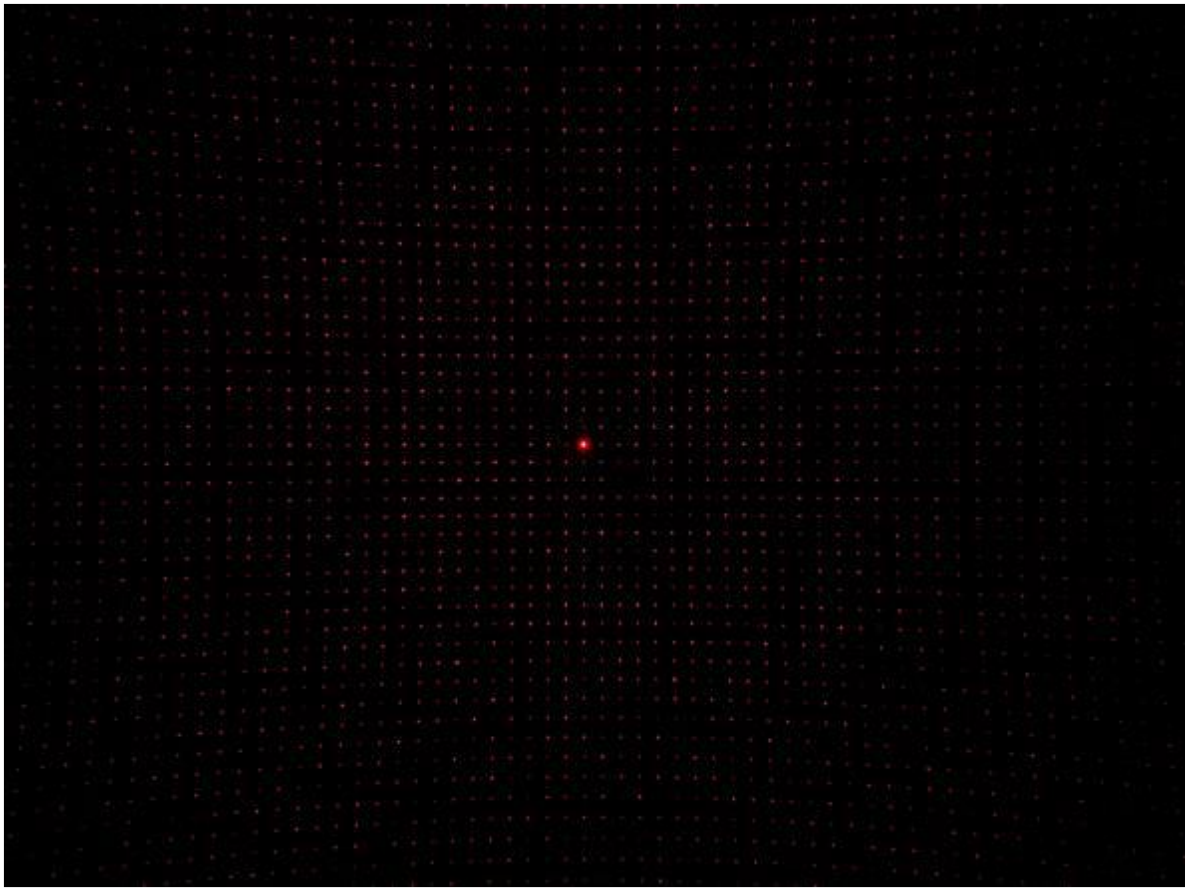


Abb. 8.1.3: Gute Ausrichtung der Kamera, nullte Ordnung in der Bildmitte

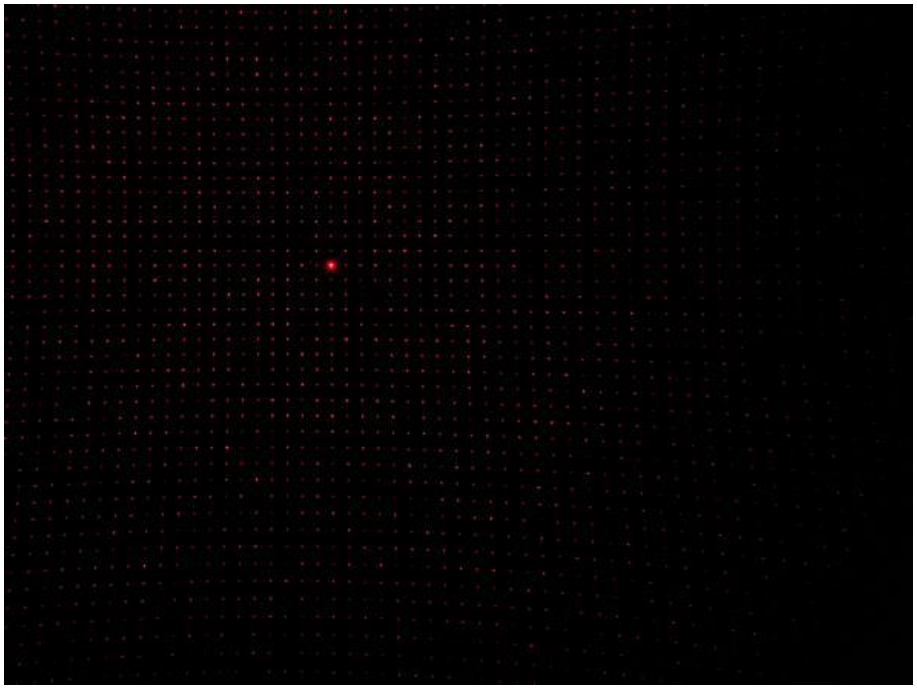


Abb. 8.1.4: Schlechte Ausrichtung der Kamera, nullte Ordnung nicht in der Bildmitte

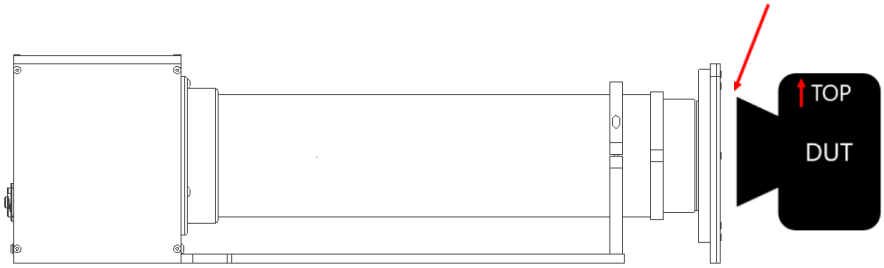


Abb. 8.1.5: Abstand zwischen Kamera und GEOCAL

Die Oberseite von GEOCAL und die Oberseite der Kamera müssen wie in Abbildung 8.1.5 dargestellt gleich ausgerichtet sein. Eine Drehung der Kamera um die optische Achse von ca. +/- 2° wird toleriert. Weitere Ausrichtschritte sind nicht erforderlich. Eine Parallelverschiebung der Kamera gegenüber dem DOE hat keinen Einfluss auf die Lage der Lichtpunkte. Die Drehung der Kamera gegenüber dem DOE ist Bestandteil der Kalibrierung, wird während des Vorgangs bestimmt und als Teil des Ergebnisses ausgegeben.

Die Frontlinse des Objektivs darf einen Durchmesser von 77 mm (GEOCAL / GEOCAL IR) bzw. 155 mm (GEOCAL XL) nicht überschreiten, damit das Punktgitter formatfüllend aufgenommen werden kann.

HINWEIS
Gehen Sie beim Positionieren der Kamera vorsichtig vor.
Das DOE besteht aus Glas und ist nur 1,5 mm dick.
Stellen Sie sicher, dass die Kalibrierung in einer abgedunkelten Umgebung durchgeführt wird, um Streulicht, Reflexionen und ähnliche Störeinflüsse zu vermeiden.

Belichtung:
Für optimale Ergebnisse sollte die Belichtung so gewählt werden, dass die einzelnen Lichtpunkte nicht gesättigt sind (d. h. keine oder nur sehr wenige weiße Pixel in der Mitte jedes Punktes) – mit Ausnahme der nullten Ordnung. Die nullte Ordnung ist stets deutlich heller als die sie umgebenden Punkte. Ein Beispiel finden Sie in Abbildung 8.1.6 unten.

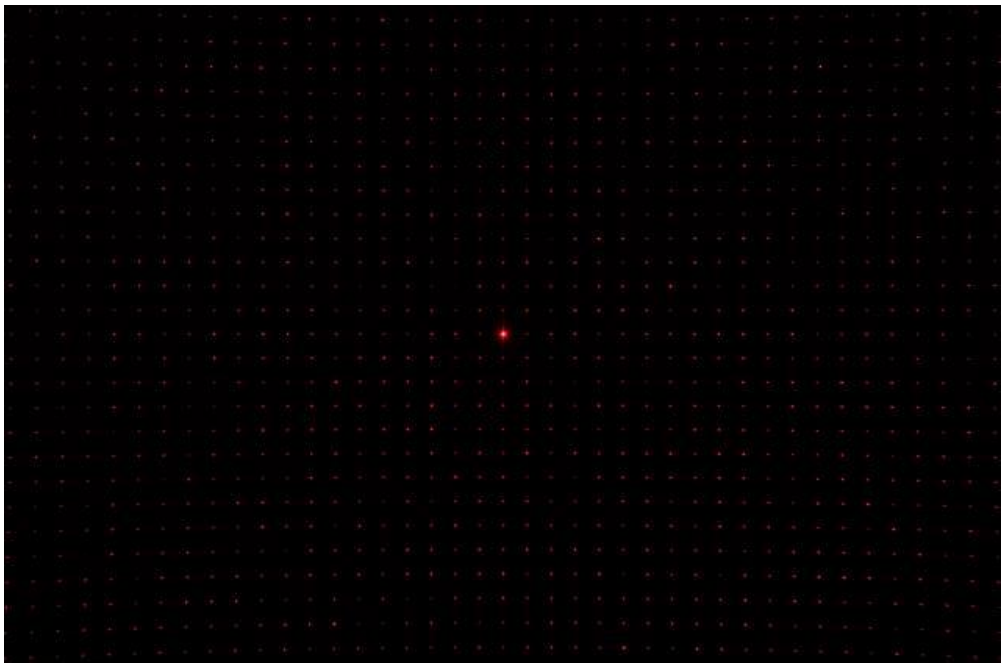


Abb. 8.1.6: Geeignete Belichtung

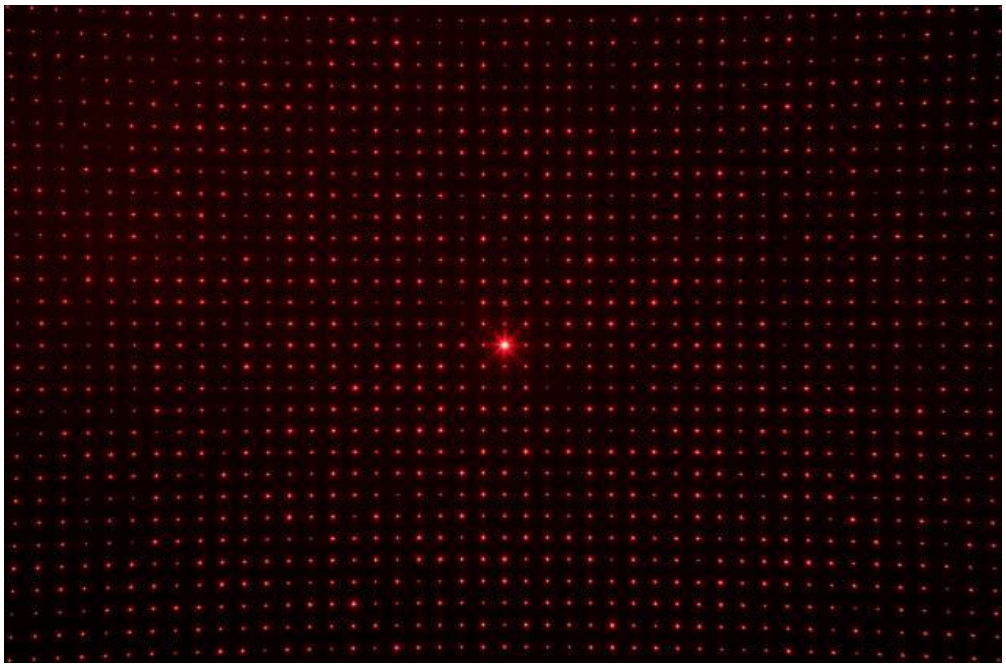


Abb. 8.1.7: Belichtung zu hell (roter Hintergrund, größere, gesättigte Punkte)

Je nach Kamera können unterschiedliche Probleme auftreten, zum Beispiel:

Die Belichtungszeit meiner Kamera lässt sich nicht kurz genug einstellen, um eine Sättigung zu vermeiden.

Mögliche Lösungen:

- Stellen Sie den ISO-Wert auf den kleinsten verfügbaren Wert ein.
- Blenden Sie, wenn möglich, weiter ab.
- Ist die Belichtungszeit weiterhin zu lang, können Sie mit einem ND-Filter (Graufilter) die auf den Bildsensor treffende Lichtmenge reduzieren.

> **HINWEIS**
> Jedes zusätzlich in den Strahlengang eingebrachte optische Element beeinflusst das Kalibrierergebnis und muss vom Anwender berücksichtigt werden.

Die Intensität nimmt zum Bildrand hin zu stark ab und Punkte sind nicht mehr sichtbar.

Die Intensität des Gitters nimmt über das Bildfeld hinweg ab. Zusätzlich kann die Kamera eine Abschattung zum Rand hin verursachen. Dieses Problem tritt besonders häufig bei Ultraweitwinkelobjektiven auf. Kompensieren Sie diesen Effekt mit der Funktion “Merge two images”, die in einem späteren Abschnitt erläutert wird.

8.2 Gerät ausschalten

Schalten Sie GEOCAL über den Kippschalter auf der Gehäuserückseite aus. Beachten Sie, dass die blaue Leuchte lediglich anzeigt, dass GEOCAL mit Spannung versorgt wird. Sie zeigt nicht an, ob das Gitter sichtbar ist. Beachten Sie außerdem, dass GEOCAL sich standardmäßig nicht über die Ansteuerung der Spannungsversorgung ein- und ausschalten lässt.

Wird GEOCAL für längere Zeit außer Betrieb genommen, trennen Sie das Gerät vom Stromnetz.

9 Unterschiede zwischen den GEOCAL-Varianten

Baugröße:
Der wesentliche Unterschied zwischen GEOCAL / GEOCAL IR und GEOCAL XL liegt in der Größe des diffraktiven optischen Elements (DOE), das das Punktmuster erzeugt.
Während der Standard-GEOCAL / GEOCAL IR über einen nutzbaren Durchmesser von 77 mm verfügt, bietet GEOCAL XL einen funktionalen Durchmesser von 155 mm.

Laserwellenlänge: Der Unterschied zwischen GEOCAL / GEOCAL
XL und GEOCAL IR liegt in der Wellenlänge der verwendeten Laserdiode.
GEOCAL und GEOCAL XL nutzen Licht mit einer Wellenlänge von 638 nm und dienen der Kalibrierung von Kameras, die im sichtbaren Spektralbereich (VIS, 380–780 nm) arbeiten.
GEOCAL IR nutzt Licht mit einer Wellenlänge von 935 nm und dient der Kalibrierung von Kameras, die im nahen Infrarot (NIR) arbeiten.

9.1 Warum eine größere Version des GEOCAL?

Ein größeres DOE kann in zwei Fällen hilfreich sein: wenn der Prüfling (DUT) entweder ein Objektiv mit zu großer Frontlinse besitzt oder wenn er nicht direkt vor dem DOE platziert werden kann.

Große Objektivdurchmesser:
Große Objektivdurchmesser (z. B. bei Video-Spezialeffekten, AR/VR-Imaging, Luftbildaufnahmen usw.) können dazu führen, dass das Punktgitter nicht formatfüllend aufgenommen werden kann, weil der Rahmen des DOE in den Aufnahmen sichtbar wird und das Licht des GEOCAL abschattet. In diesem Fall empfehlen wir GEOCAL XL, dessen DOE den doppelten Durchmesser der Standardversion aufweist (155 mm statt 77 mm).

Solange keine Abschattung auftritt, ist das dargestellte Punktgitter bei beiden GEOCAL-Varianten identisch. Die Größe des DOE ist dabei unerheblich. GEOCAL XL ermöglicht es daher, jede Kamera bis zu einem Objektivdurchmesser von 155 mm* zu kalibrieren und dabei dieselbe Genauigkeit wie die Standardversion zu gewährleisten.

*innerhalb der Spezifikationen des Datenblatts

Größere Abstände:
Ein weiterer Grund für ein größeres DOE ist beispielsweise eine Fahrzeug-Windschutzscheibe zwischen GEOCAL und Prüfling. Wie in Kapitel 8.1, Abschnitt „Kameraposition und geeignete Objektive“, erwähnt, muss das erzeugte Punktgitter den gesamten Kamerasensor abdecken, um eine zuverlässige Kalibrierung zu gewährleisten.

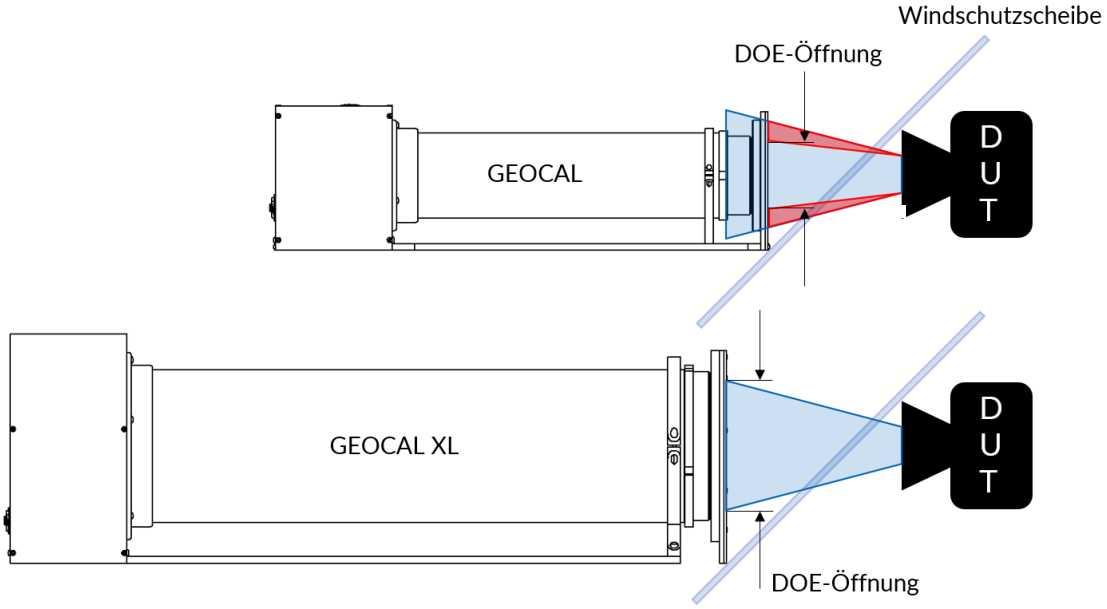


Abb. 9.1: Zweck eines GEOCAL XL mit großem DOE

Wie in Abbildung 9.1 dargestellt, verhindert der Neigungswinkel der Windschutzscheibe, dass der Standard-GEOCAL nah genug an der Kamera platziert werden kann, um ein formatfüllendes Abbild des Standard-DOE zu liefern. Diese Aufnahmesituation würde zu einer weniger genauen und weniger zuverlässigen Kalibrierung führen.

9.2 Warum eine Infrarot-Version des GEOCAL?

Die Kalibrierung von Infrarotkameras ist für bestimmte Anwendungen wichtig, um sicherzustellen, dass die erfassten Daten genau und zuverlässig sind. Beispiele:

Fahrerassistenzsysteme (ADAS): Infrarotkameras werden in Fahrerassistenzsystemen (ADAS) eingesetzt, um das Fahrzeugumfeld zu überwachen und potenzielle Gefahren zu erkennen. Kalibrierte Infrarotkameras stellen sicher, dass die erfassten Daten präzise sind, und ermöglichen so die zuverlässige Erkennung von Fußgängern, Fahrzeugen und Hindernissen. Dadurch arbeiten ADAS-Funktionen wie Kollisionswarnung, Spurhaltewarnung und adaptive Geschwindigkeitsregelung effektiver und tragen zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit bei.

Gebäude- und Bauwerksinspektion: Infrarotkameras werden bei der Gebäude- und Bauwerksinspektion eingesetzt, um Feuchteschäden und andere strukturelle Probleme zu erkennen. Kalibrierte Infrarotkameras stellen sicher, dass die erfassten Bilder und Daten korrekt sind, sodass Prüfer geeignete Instandsetzungsmaßnahmen empfehlen können.

10 GEOCAL-Software

Mit der GEOCAL-Software werten Sie die mit Ihrem GEOCAL aufgenommenen Bilder aus und führen eine geometrische Kalibrierung durch. Die Software erzeugt dazu auf Basis von Laserwellenlänge und Gitterkonstante ein unverzeichnetes Referenzgitter, das zu Ihrem GEOCAL passt. Sie versucht, die intrinsische Kameramatrix, die Verzeichnungskoeffizienten und weitere Parameter zu berechnen, die erforderlich sind, um das Referenzgitter so zu verzeichnen, dass es bestmöglich mit dem detektierten Gitter übereinstimmt. Das verzeichnete Referenzgitter bezeichnen wir als reprojiziertes Gitter.

Die Ergebnisse können als CSV- oder XML-Datei gespeichert werden.

10.1 Installation

Die GEOCAL-Software setzt das Betriebssystem Windows 10 oder Windows 11 voraus.

Führen Sie das GEOCAL-Installationsprogramm aus und folgen Sie den Anweisungen zur Installation der Software.

10.2 Übersicht

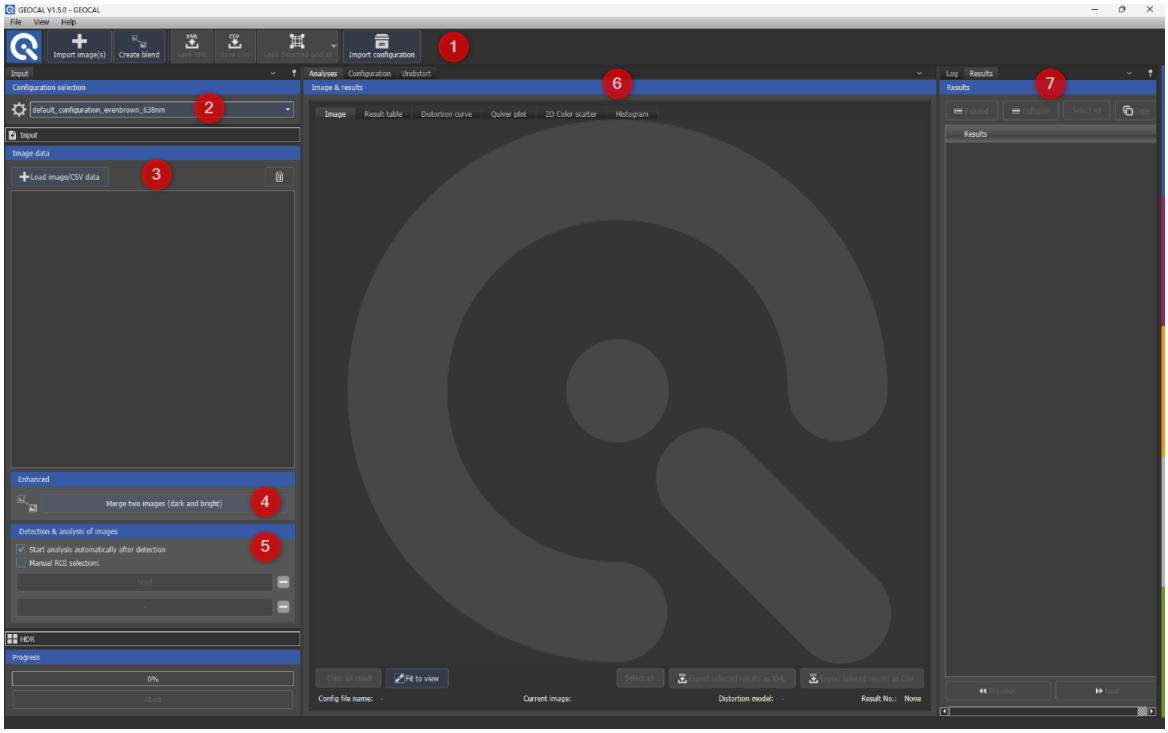
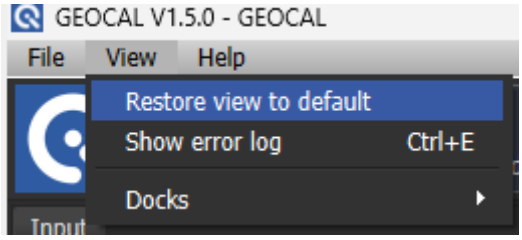


Abb. 10.2.1 – Übersicht der Benutzeroberfläche

1. Werkzeugleiste („Toolbar“)
2. Konfigurationsauswahl („Configuration selection“)
3. Bilddaten („Image data“)
4. Erweitert („Enhanced“)
5. Detektion und Analyse der Bilder („Detection and Analysis of images“)
6. Registerkarten „Analysis“ / „Configuration“ / „Undistortion“
7. Log und Ergebnisse („Log and Results“)

Beachten Sie, dass Sie die Benutzeroberfläche anpassen können, indem Sie die Registerkarten an andere Positionen ziehen. Über „Restore view to default“ im oberen Menü stellen Sie jederzeit den Ausgangszustand wieder her.

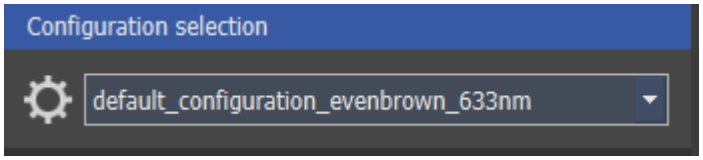


10.3 Geometrische Kalibrierung durchführen

Für einen schnellen Test können Sie eines der künstlich erzeugten Beispielbilder verwenden, die sich hier befinden:

C:\Users\Public\Documents\GEOCAL\Sample Images

Wählen Sie zunächst im Bereich „Configuration selection“ (2) eine Konfiguration aus.



Sie können eine der Standardkonfigurationen verwenden. **Achten Sie darauf, die Konfiguration zu wählen, die zur Laserwellenlänge Ihres GEOCAL passt.** Die künstlichen Beispielbilder basieren auf einem 633-nm-Laser.

Wie Sie eine eigene Konfiguration erstellen, ist in Kapitel 10.11 beschrieben.

Klicken Sie in der Werkzeugleiste (1) auf „Import image(s)“ (Strg+O) → navigieren Sie zum Ordner mit den Bildern → wählen Sie ein oder mehrere Bilder aus und klicken Sie auf „Open“.

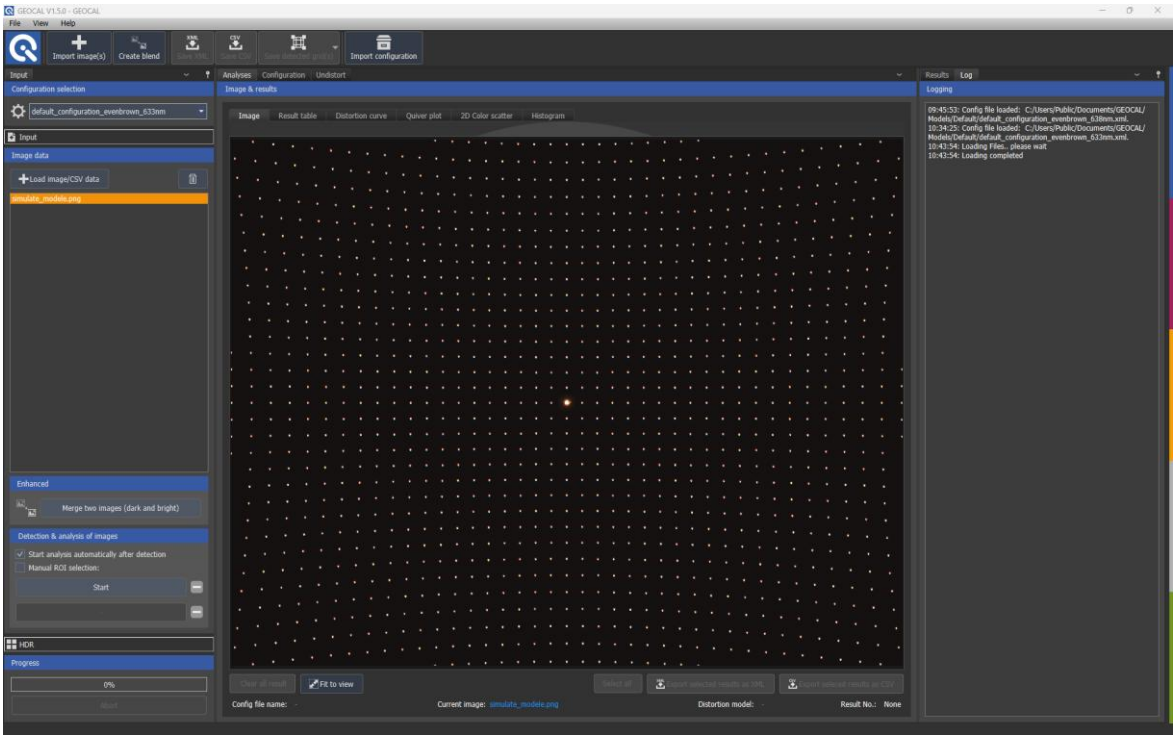
Die Software unterstützt die Analyse von 8-Bit- und 16-Bit-Bildern.

Die folgenden Dateitypen werden unterstützt (demosaikierte Bilder): .TIFF, .JPG, .BMP, .PNG, .PGM.

Bitte beachten: Bilder mit Bayer-Muster führen zu Problemen bei der Punktdetektion, da der Mittelpunkt des Punktes nicht korrekt bestimmt werden kann.

Die zu analysierenden Bilder müssen so aufgenommen werden, dass das Punktgitter den Sensor vollständig ausfüllt. Ausführliche Hinweise finden Sie unter „Gerät bedienen“.

Das importierte Bild wird im Bereich „Image data“ (3) aufgelistet. Wenn Sie mehrere Bilder importiert haben, werden alle Bilder in diesem Bereich analysiert und für jedes Bild Ergebnisse ausgegeben. Das Bild selbst wird in der Registerkarte „Analysis“ (6) angezeigt.



Klicken Sie im Bereich „Detection & analysis of images“ auf „Start“, um die geometrische Kalibrierung durchzuführen. Standardmäßig werden Punktdetektion und Bildanalyse nacheinander ausgeführt. Die Analyse ist abgeschlossen, wenn der Fortschrittsbalken am unteren Fensterrand 100 % erreicht.

Die numerischen und grafischen Ergebnisse werden nun im Bereich „Image and results“ unter der Registerkarte „Analysis“ angezeigt.

Falls die automatische Detektion in seltenen Fällen fehlschlägt, etwa weil die nullte Beugungsordnung nicht gefunden wurde, können Sie eine manuelle ROI-Auswahl vornehmen, indem Sie im Bereich „Detection & Analysis“ (5) das Kontrollkästchen „Manual ROI selection“ aktivieren.

Anschließend erscheinen fünf voreingestellte ROIs in der visualisierten Ansicht. Größe und Position dieser ROIs lassen sich durch Klicken und Ziehen anpassen.

Ein ROI muss auf der nullten Beugungsordnung positioniert werden (dem hellsten Punkt in der Mitte des Gitters). Passen Sie die Größe des ROI so an, dass er nur einen Punkt enthält.

Die vier verbleibenden ROIs müssen auf den Punkten positioniert werden, die der nullten Beugungsordnung am nächsten liegen, also auf den Punkten oben, unten, links und rechts. Auch diese vier ROIs dürfen jeweils nur einen Punkt enthalten. Zudem sollten sich die einzelnen ROIs nicht wesentlich überlappen. Siehe Abbildung 10.6.2 unten als Referenz.

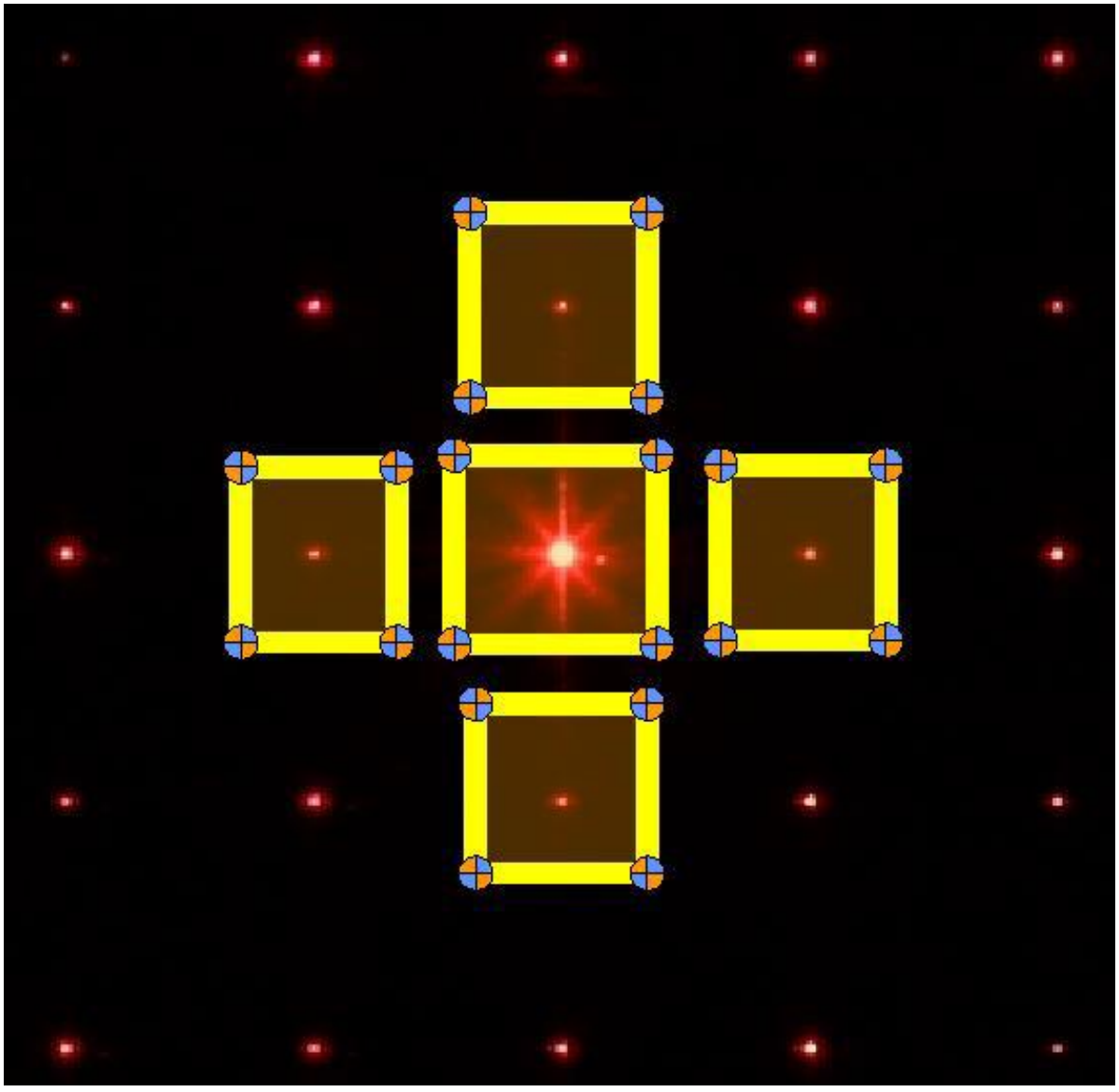


Abb. 10.6.2: Manuelle Punktdetektion

Klicken Sie nach dem manuellen Anpassen der ROIs auf „Start“, um die geometrische Kalibrierung durchzuführen.

10.4 Zwei Bilder zusammenführen („Merge two images“)

Die Intensität des Beugungsgitters des GEOCAL nimmt über das Bildfeld hinweg ab. Zusätzlich kann die Kamera eine Abschattung zum Rand hin verursachen. Beide Effekte erschweren die Punktdetektion. Dieses Problem tritt besonders häufig bei Ultraweitwinkelobjektiven auf. Kompensieren Sie diesen Effekt mit der Funktion „Merge two images“.

Die Funktion „Merge two images“ erzeugt aus zwei Eingangsbildern mit langer Belichtung (hell) und kurzer Belichtung (dunkel) ein neues Bild. Beide Bilder werden überblendet und zu einem einzigen Bild zusammengeführt, sodass die kurze Belichtung in der Bildmitte und die lange Belichtung zum Bildrand hin stärker gewichtet wird.

Welche Belichtungen am besten geeignet sind, hängt von der Kamera ab. Achten Sie darauf, dass die Punkte am Bildrand in der hellen Belichtung und die Punkte in der Bildmitte in der dunklen Belichtung gut belichtet sind, wie im nachfolgenden Beispiel.

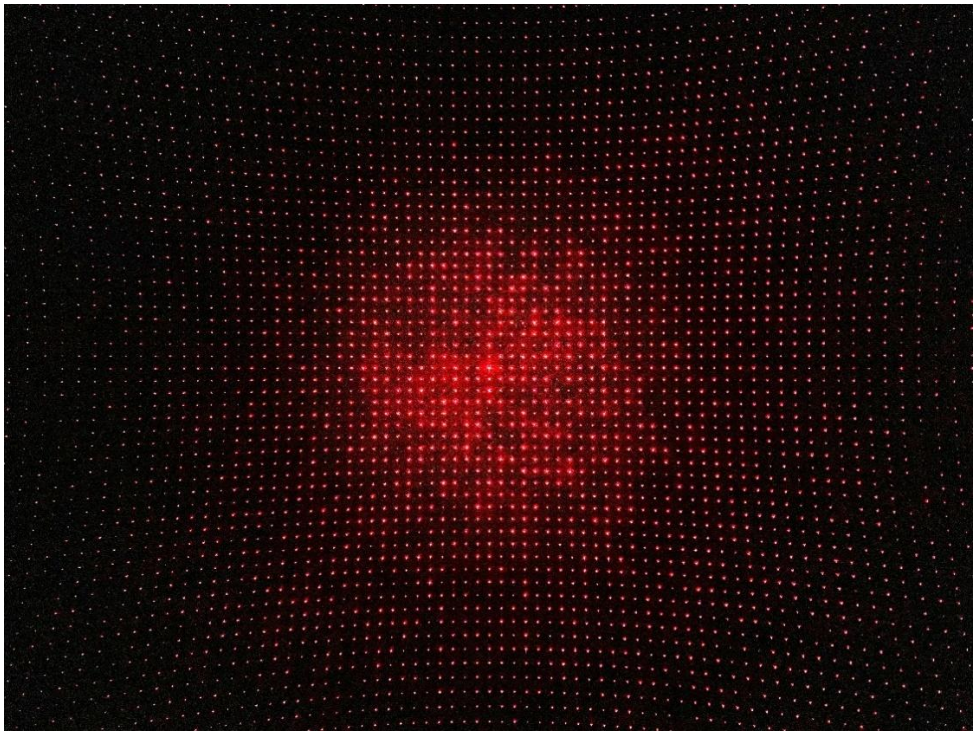


Abb. 10.4.1 Helle Belichtung: Die Punkte in der Bildmitte sind übersättigt.

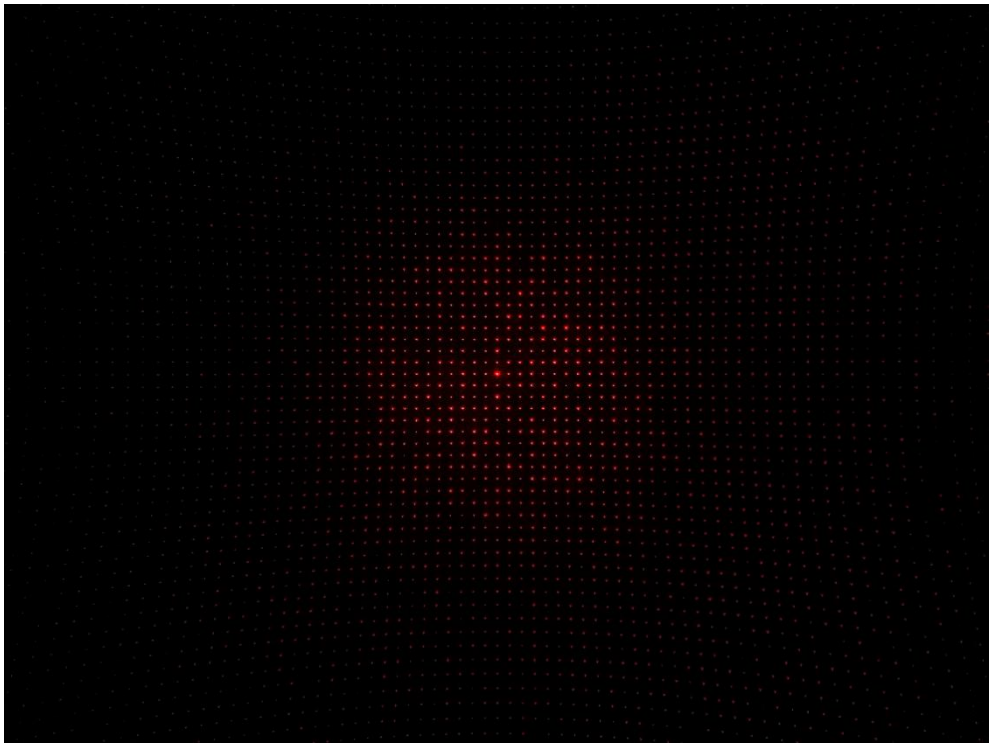


Abb. 10.4.2 Dunkle Belichtung: Die Punkte werden zum Bildrand hin zu dunkel.

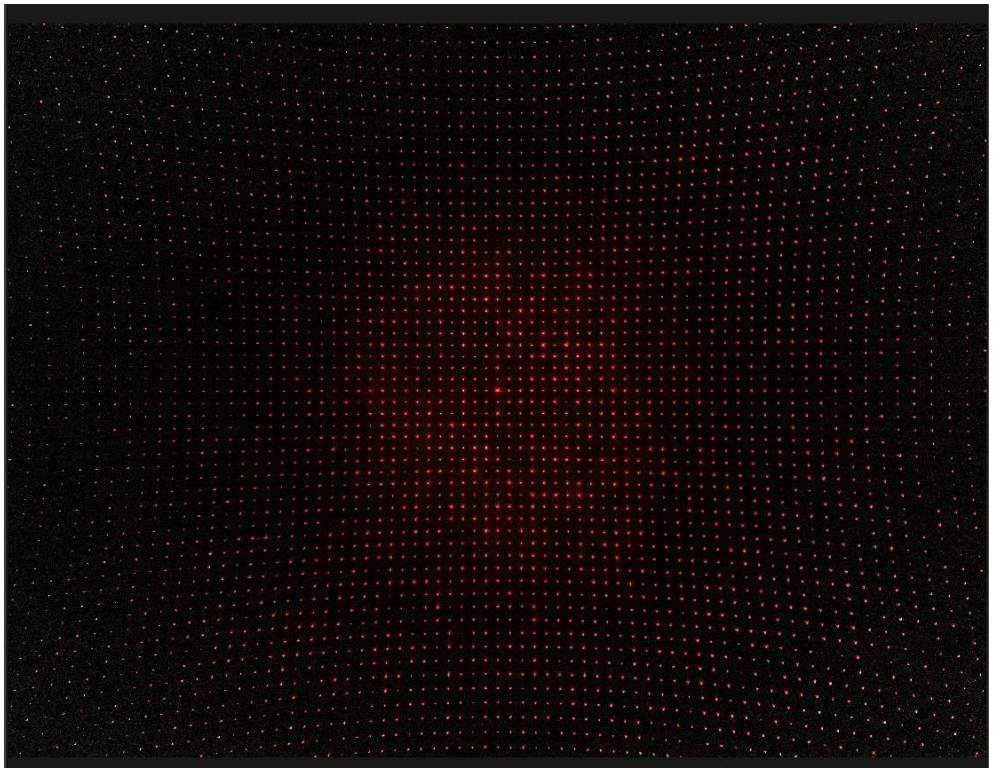
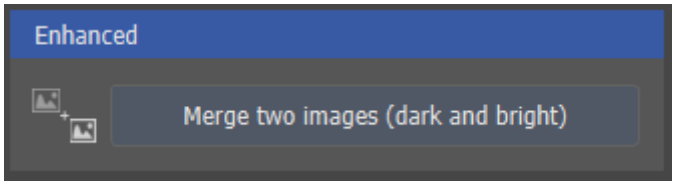


Abb. 10.4.3 Überblendetes Bild: Bildmitte und Bildränder sind gut belichtet.

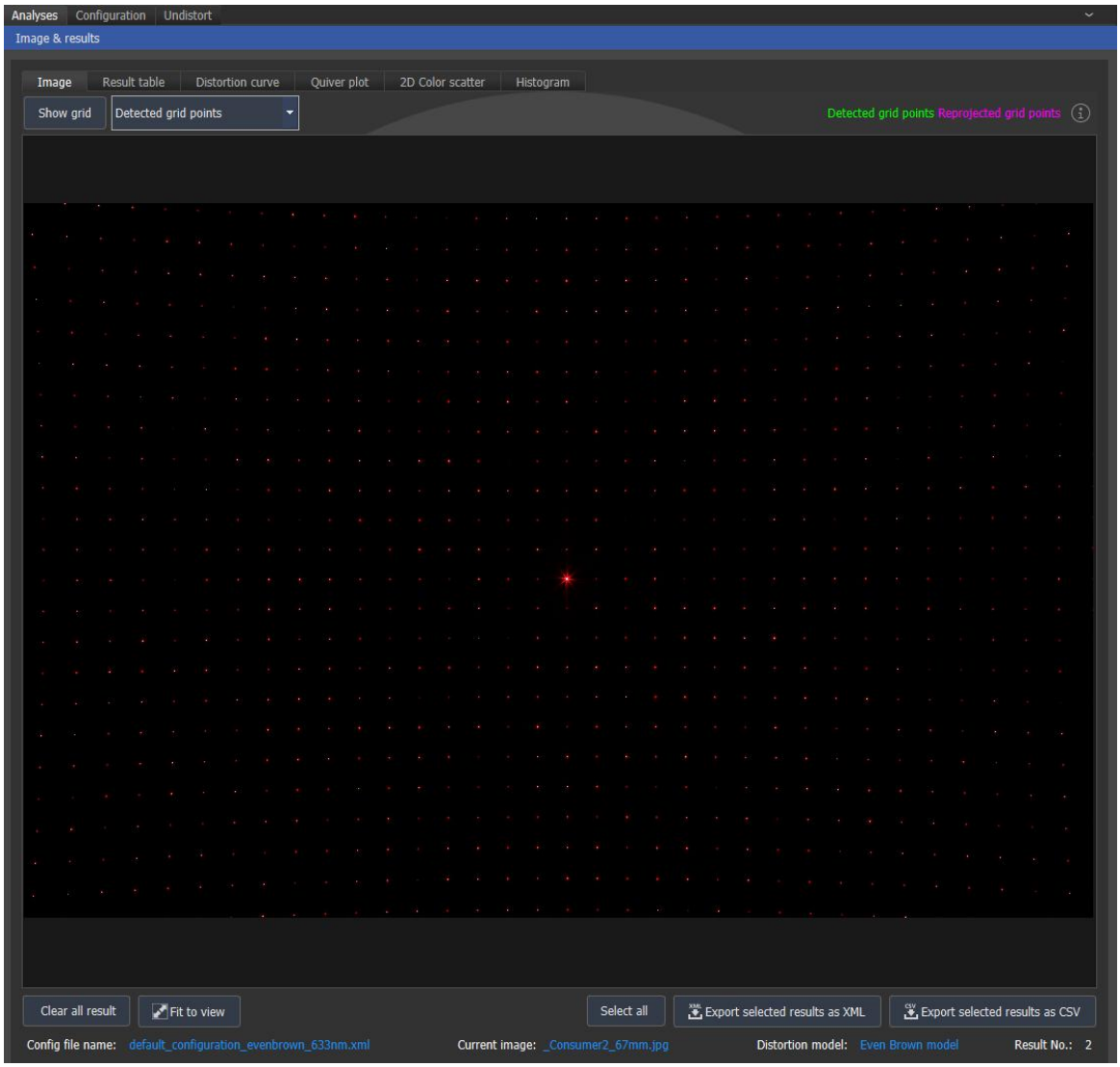
Klicken Sie auf „Merge two images“, um ein überblendetes Bild zu erzeugen und zu analysieren.



Wählen Sie im folgenden Dialog die beiden zusammenzuführenden Bilder aus und klicken Sie auf „Open“. Die Software erkennt automatisch, welches Bild die helle und welches die dunkle Belichtung ist, überblendet die beiden Bilder und fügt das zusammengeführte Bild mit dem Präfix „merge_“ im Bereich „Image data“ hinzu. Von dort aus kann es wie jedes andere Bild weiterverarbeitet werden.

10.5 Numerische und grafische Ergebnisse

Alle numerischen und grafischen Ergebnisse werden in der Registerkarte „Analysis“ oder in der Ergebnisliste angezeigt.



Nach einer erfolgreichen Analyse werden die detektierten und die reprojizierten Punkte auf dem Originalbild dargestellt.

Zoomen Sie mit dem Scrollrad in das Bild, um eine bessere Ansicht zu erhalten. Die Punkte haben eine Größe von einem Pixel. Die grünen Pixel zeigen das detektierte, die magentafarbenen Pixel das reprojizierte Gitter. **Beachten Sie, dass Abstände zwischen den Gittern nur mit einer Genauigkeit von einem Pixel dargestellt werden können, tatsächlich aber kleiner sein können.**

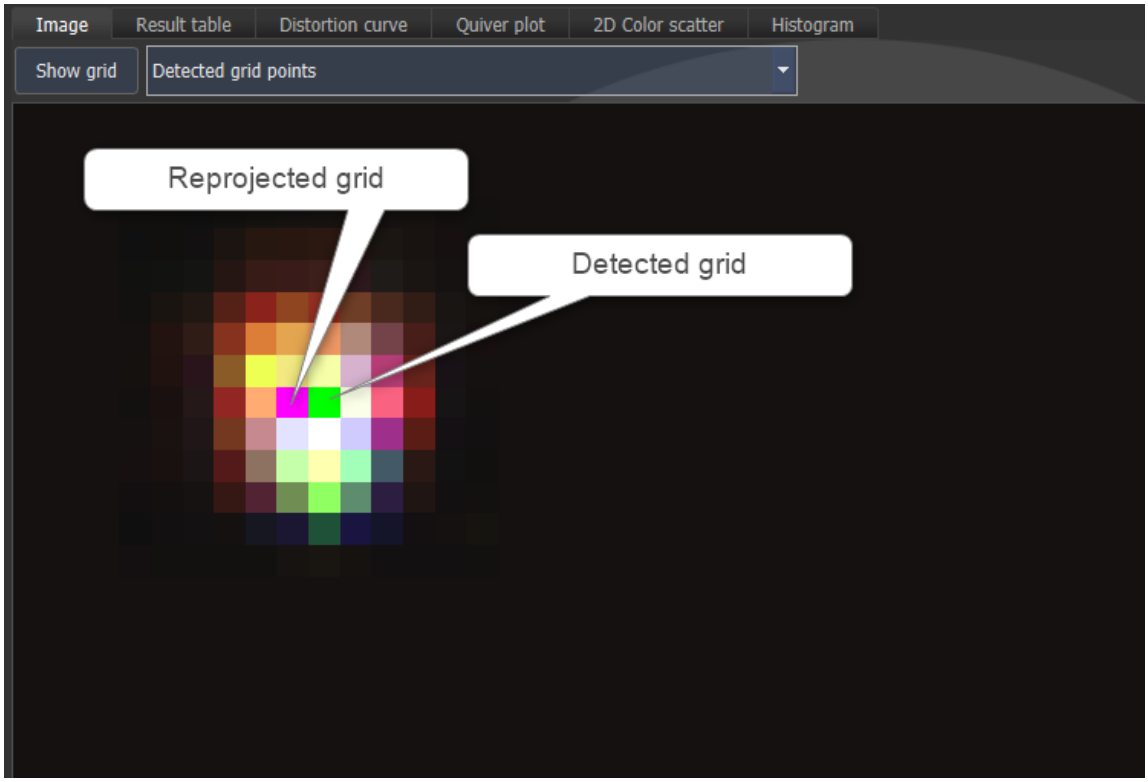
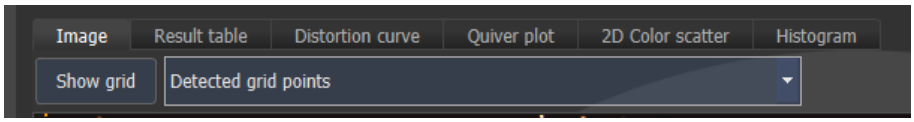


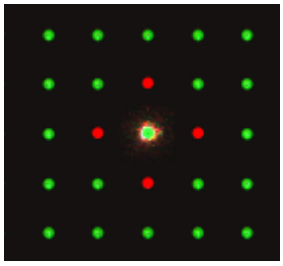
Abb. 10.5.1 – Reprojiziertes und detektiertes Gitter in der Bildansicht nach der Punktdetektion

Je besser detektiertes und reprojiziertes Gitter übereinstimmen, desto besser ist das Kalibrierergebnis. Ein Indikator für eine gute Reprojektion ist der RMSE-Wert, der weiter unten erläutert wird.

Klicken Sie auf „Show grid“, um eine skalierte, besser erkennbare Ansicht der verschiedenen Gitter zu erhalten, die Sie im Dropdown-Menü auswählen können.



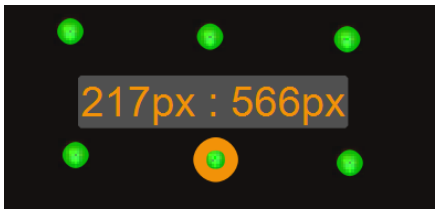
Detektierte Gitterpunkte („Detected grid points“): Alle von der Software detektierten Punkte (grün). Die roten Punkte sind entweder nicht gefundene oder ignorierte Punkte. Einige Punkte werden bewusst ignoriert, zum Beispiel rund um die nullte Beugungsordnung.



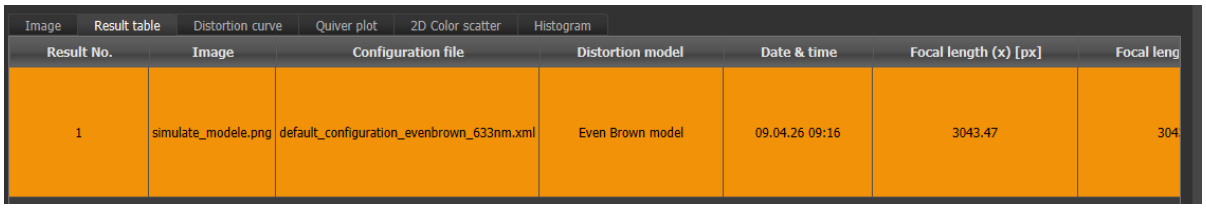
In die Analyse einbezogene Gitterpunkte („Grid points included in analysis“, blau): Alle Punkte, die für die geometrische Kalibrierung verwendet werden. Haben Sie beispielsweise in Ihrer Konfiguration einen Radiusfilter angewendet, werden die Punkte außerhalb dieses Radius nicht in die Kalibrierung einbezogen.

Reprojizierte Punkte („Reprojected points“, magenta): Alle reprojizierten Punkte auf Basis der durchgeführten Kalibrierung. Die berechnete intrinsische Matrix und die Verzeichnungskoeffizienten des gewählten Verzeichnungsmodells wurden verwendet, um das Referenzgitter auf das detektierte Gitter zu reprojizieren.

Wenn Sie mit dem Mauszeiger über einen Punkt fahren, werden die Pixelkoordinaten des detektierten Punktes angezeigt. Diese Funktion ist zum Beispiel hilfreich, um den Punkt in den CSV-Dateien mit den Punktkoordinaten wiederzufinden.



Registerkarte „Result table“ (Ergebnistabelle)



Die Ergebnistabelle zeigt die folgenden Informationen:

Result No.: Die eindeutige Ergebnisnummer.

Image: Der Dateiname des Bildes.

Distortion model: Das angewendete Verzeichnungsmodell.

Focal length: Die Brennweite in x- und y-Richtung in Pixeln. Mit dem Pixelabstand (Pixel Pitch) Ihrer Kamera können Sie die Brennweite in mm oder andere Einheiten umrechnen.

Principal point: Die Lage des berechneten Bildhauptpunkts in x- und y-Richtung in Pixeln.

Alpha and Beta: Alpha und Beta geben den Winkel des DOE zur Ebene des Laserstrahls in Grad an.

Roll, Pitch and Yaw: Die Drehwinkel der Kamera gegenüber dem DOE, auch als Omega, Phi und Kappa bezeichnet. **Pitch** (Nicken) bezeichnet die Drehung um die Querachse, bei der die Kamera nach oben oder unten geneigt wird. **Yaw** (Gieren) ist die Drehung um die Hochachse, bei der die Kamera nach links oder rechts geschwenkt wird. **Roll** (Rollen) beschreibt die Drehung um die Längsachse (Objektivachse), bei der die Kamera seitlich kippt.

Distortion coefficients: Die berechneten radialen Verzeichnungskoeffizienten, die für die Reprojektion angewendet werden. Die Anzahl der Koeffizienten lässt sich in der Konfigurationsdatei festlegen.

Tangential coefficients: Die tangentialen Verzeichnungskoeffizienten, die standardmäßig nicht berechnet werden.

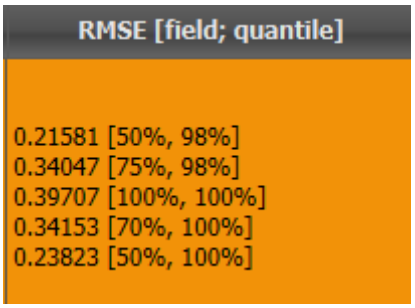
Skew: Die Achsenschiefe (Scherung), die üblicherweise 0 beträgt.

RMSE: Der Root Mean Squared Error (mittlerer quadratischer Fehler) des reprojizierten Gitters gegenüber dem detektierten Gitter; n bezeichnet die Anzahl der Gitterpunkte, y_i und $\hat{y}_i$ die detektierten und die berechneten Gitterpunktpositionen.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Der RMSE gibt guten Aufschluss über die Qualität der geometrischen Kalibrierung. Je niedriger der RMSE, desto besser.

Der RMSE wird für verschiedene Bildfelder und Quantile berechnet (RMSE-Filter). Die erste Zahl in Klammern ist das Bildfeld, die zweite das Quantil. [100 %, 100 %] umfasst somit alle in die Analyse einbezogenen detektierten Punkte.



Die Definition eines Bildfelds kann sinnvoll sein, um die Änderung des RMSE über das Feld zu betrachten, oder wenn Sie bestimmte Anforderungen in einem bestimmten Feld erfüllen müssen.

Das Quantil eignet sich sehr gut, um Ausreißer aus der RMSE-Berechnung auszuschließen. Ein Quantil von 98 % bedeutet beispielsweise, dass jene 2 % der Gitterpunkte mit den höchsten RMSE-Werten aus der Analyse ausgeschlossen werden. Die radiale Bildfeld-Filterung erfolgt vor dem statistischen Ausschluss.

Bitte beachten Sie, dass in der Software zwei verschiedene **Filter** unterschieden werden:

- Radius-Filter (vor Kalibrierung): Bestimmt, welche Punktepaare für die Kalibrierung des Kamerasystems verwendet werden.
- RMSE-Filter (nach Kalibrierung): Bestimmt, welche Punktepaare in die RMSE-Fehlerberechnung einbezogen werden. Das können Punktepaare innerhalb eines bestimmten Quantils oder Radius sein.

Wichtiger Hinweis zum Verhalten: Wenn Sie den Radius-Filter beispielsweise auf 70 % (0.7) stellen, wird das System ausschließlich auf Basis dieses Bereichs kalibriert. Werten Sie den RMSE für ein größeres Feld aus, werden auch die Punkte außerhalb des Kalibrierbereichs einbezogen. Da dieser äußere Bereich nicht in die Kalibrierung eingeflossen ist, steigt der RMSE-Fehler dort in der Regel deutlich an.

Der Radius und RMSE-Filter benutzen den gleichen, in der Konfiguration definierten, Filter (GRID_ORDER oder IMAGE_FIELD).

Möchten Sie Quantil oder Feld vom RMSE Filter ändern, müssen Sie Einträge in der Konfigartionsdatei ändern. Dies geht zurzeit nicht über die GUI. Hier ist die erste Zahl das Quantil und die zweite das Feld. Sie können auch mehrere Einträge hinzufügen z.B. {100:70};{95:60},…

<QuantileRMSEParameters Use="true">{98:75};{98:50}</QuantileRMSEParameters>

F min: Der Wert wird vom Optimierer nach der letzten Iteration zurückgegeben. Er kann zum Vergleich der Qualität des gesamten Parameteroptimierungsverfahrens herangezogen werden. Es handelt sich nicht um einen direkten Messergebniswert.

Estimated FOV vertical, horizontal, diagonal in Grad: Der Bildwinkel der Kamera in den verschiedenen Richtungen. Da die Punkte des GEOCAL-Gitters einen definierten Einfallswinkel besitzen, lässt sich der Bildwinkel der Kamera durch Extrapolation des Winkels der detektierten Punkte über das Feld ableiten.Die Berechnung des FoV ist stark abhängig von der Punktdetektion am Rand und des Kamerasystems und sollte als Näherung verstanden werden.

Analysis time: Gesamtdauer der Analyse in Sekunden.

Number of points: Gesamtzahl der detektierten Punkte.

Field: Das Bildfeld, in dem die Punkte in die Analyse einbezogen wurden, im Bereich von 0 % bis 100 % (0 bis 1), abhängig von der Art des in der Konfiguration festgelegten Radiusfilters. **Bitte beachten Sie, dass der Radiusfilter im Eintrag**

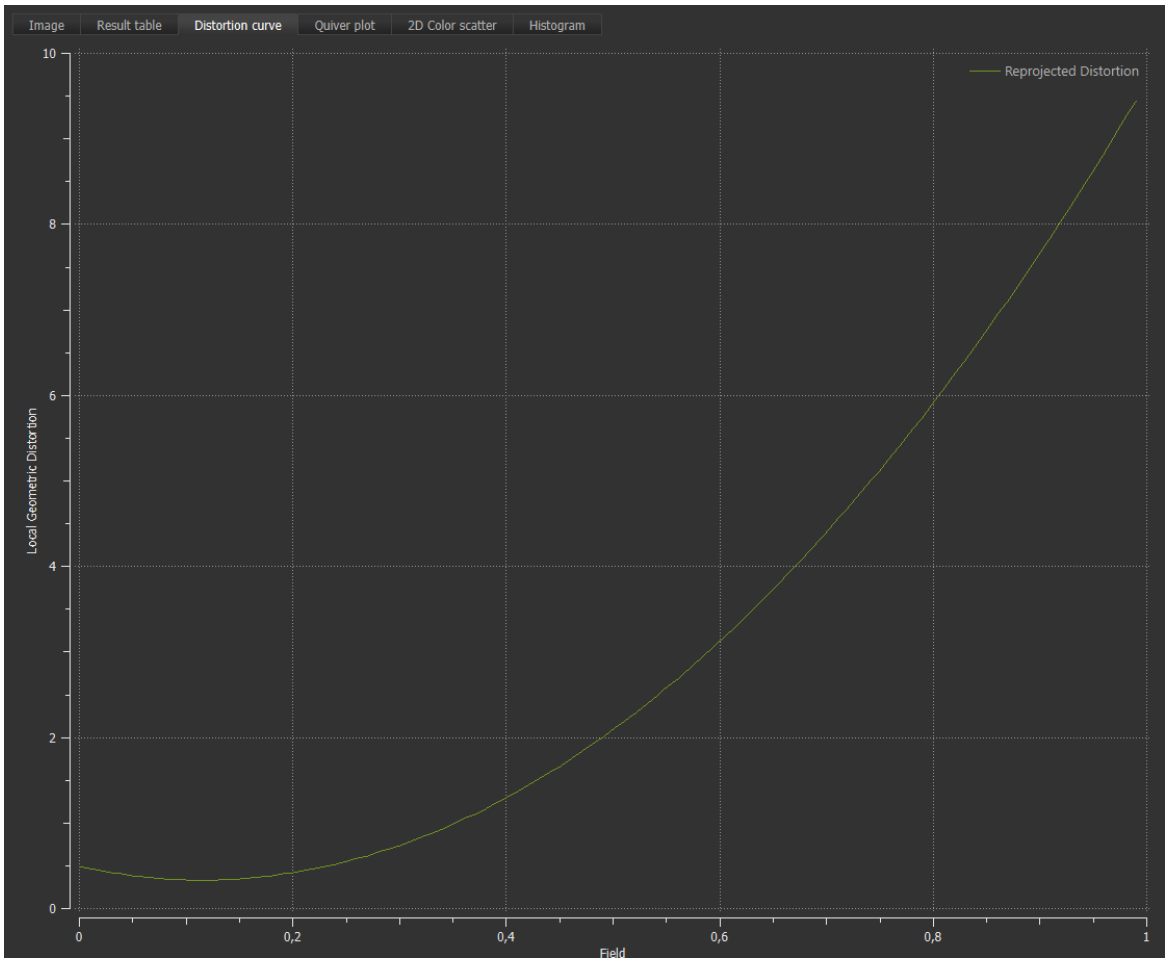
<RadiusFilterForDetectedPoints> einer Konfigurationsdatei geändert werden muss. Das ist zurzeit nicht in der GUI möglich. Im Attribut „Unit“ stehen zwei Optionen zur Auswahl:

- **GRID_ORDER**: Das Feld richtet sich nach dem euklidischen Abstand des am weitesten entfernten detektierten Gitterpunkts vom mittleren Gitterpunkt, angegeben in Einheiten der Gitterordnung. Dieser Abstand wird als 100 % Feld interpretiert.

- **IMAGE_FIELD**: In diesem Fall wird der euklidische Abstand von den Bildecken zur Bildmitte als 100 % Feld interpretiert.

Inversion coefficients: Die Inversionskoeffizienten für Custom Model 2.

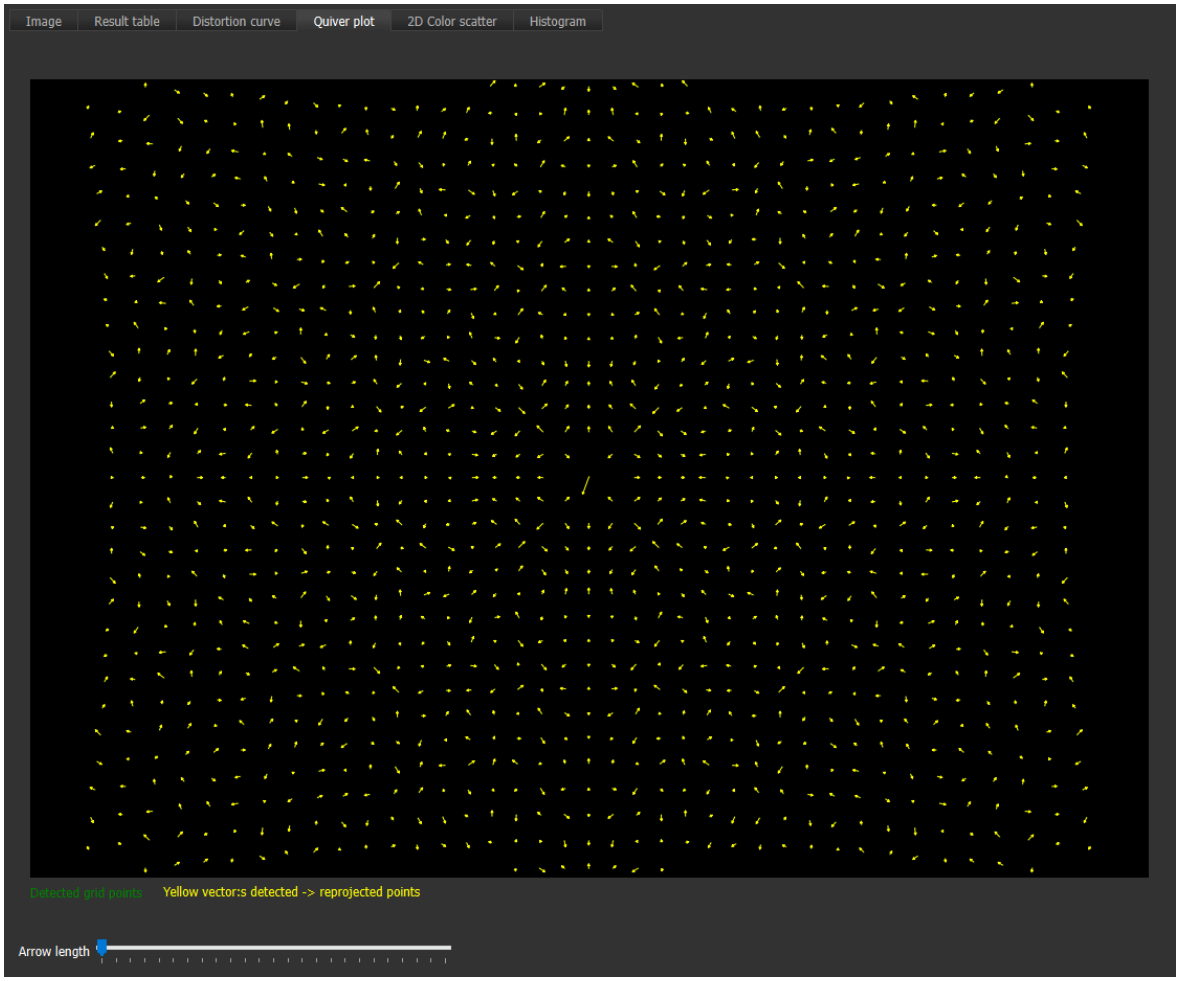
Verzeichnungskurve („Distortion Curve“)



Die Kurve wird aus den Verzeichnungskoeffizienten berechnet und zeigt, wie sich die Verzeichnung des Objektivs von der optischen Achse bis zum Rand des Bildfelds ändert (Feld 0…1).

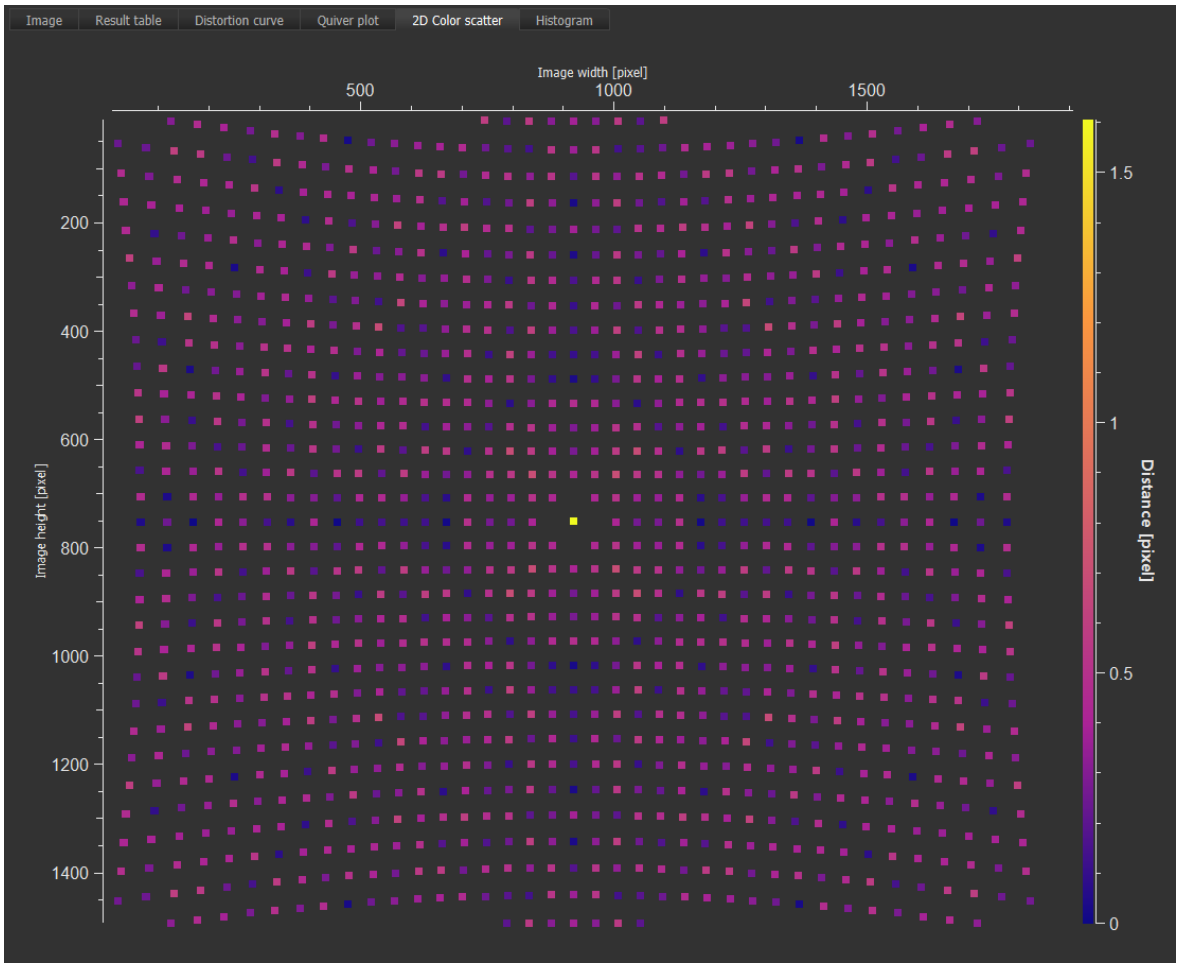
Vektorfeld („Quiver Plot“)

Das Vektorfeld zeigt Richtung und Betrag der Abweichung zwischen detektiertem und reprojiziertem Gitter. Die jeweiligen Pfeile geben an, wie die detektierten Punkte gegenüber den reprojizierten Punkten angeordnet sind.



Beachten Sie, dass Sie die Skalierung der Pfeile mit dem Schieberegler unterhalb des Bildes ändern können, um Richtungsänderungen besser zu erkennen. Diese Ansicht eignet sich eher zum Erkennen von Mustern in der geometrischen Kalibrierung als für tatsächliche Messungen.

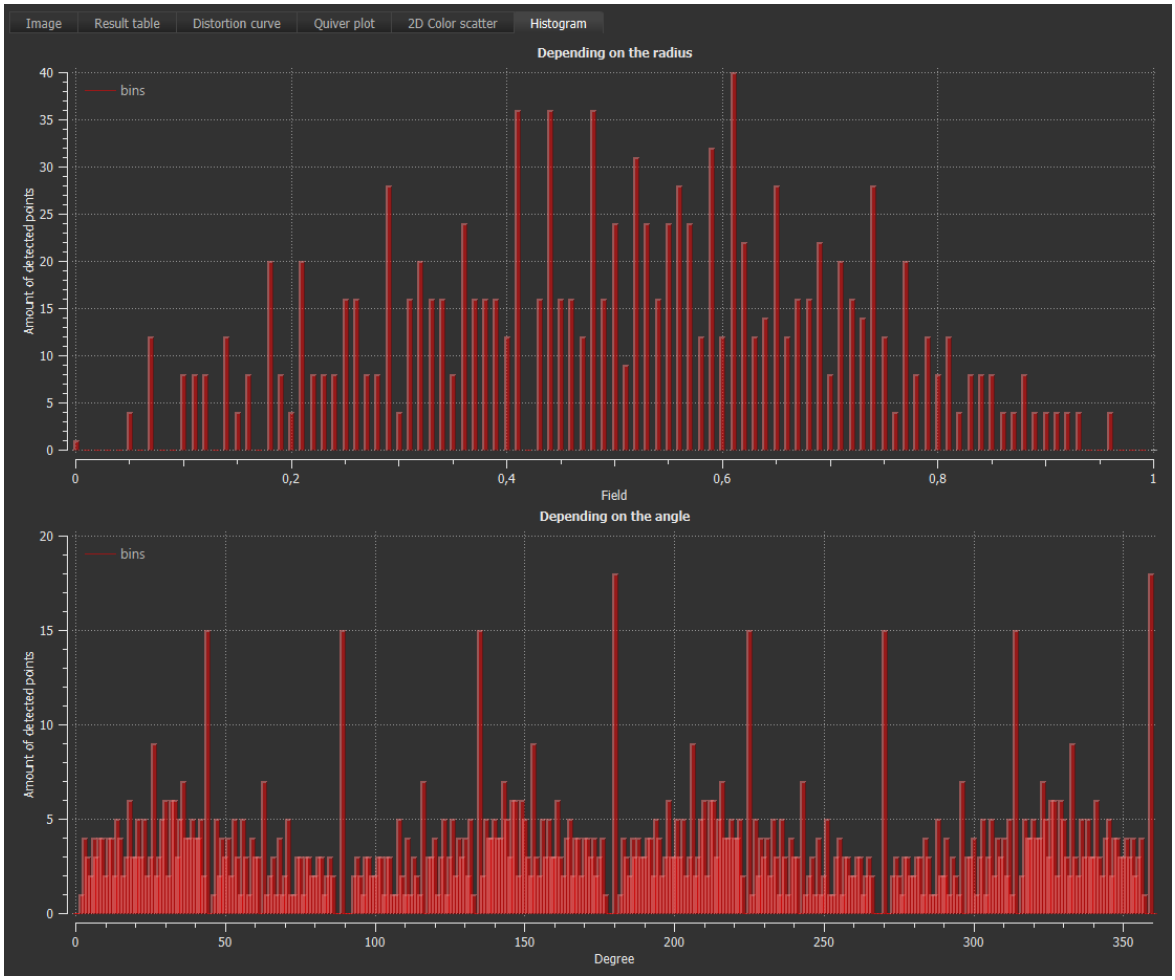
Farbcodiertes Streudiagramm („Color Scatter plot“)



Dieses Diagramm zeigt ein Raster farbcodierter Quadrate, wobei jedes Quadrat den Abstand zwischen einem detektierten und einem reprojizierten Punkt in Pixeln darstellt. Die Skala rechts zeigt die jeweilige Farbcodierung.

Histogramm

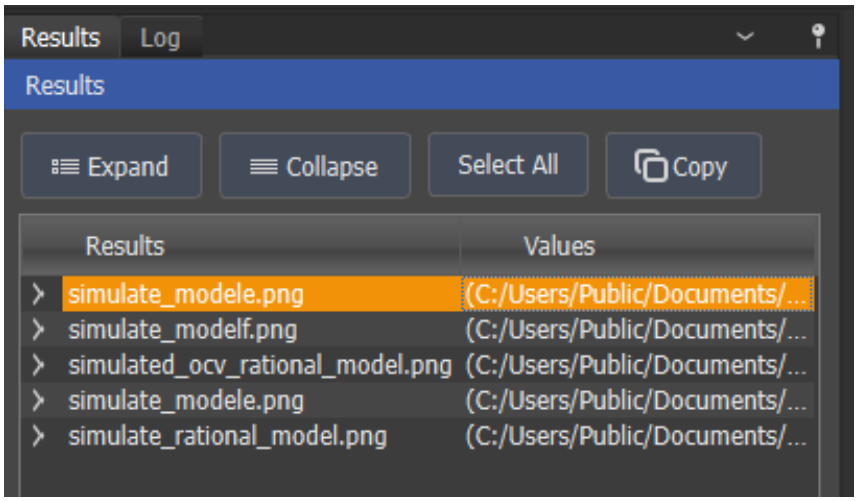
Das Histogramm gibt Aufschluss über die Verteilung der Gitterpunkte über das Bildfeld in Abhängigkeit vom Winkel und vom Radius.



Es werden zwei verschiedene Histogramme dargestellt. Das erste Histogramm enthält die erfolgreich detektierten Beugungspunkte als Funktion des Radius. Die Werte beginnen bei null (Bildhauptpunkt) und verlaufen entlang der Bilddiagonalen bis zur Bildecke (eins).

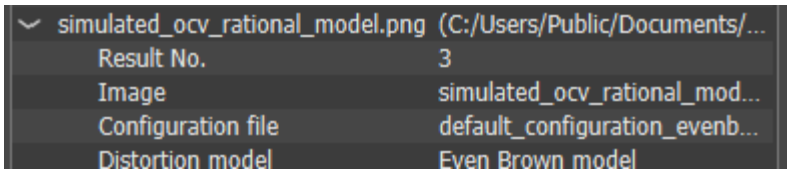
Das zweite Histogramm enthält die erfolgreich detektierten Beugungspunkte als Funktion des Winkels. Bezugsgröße ist eine Gerade, die vom Bildhauptpunkt zum rechten Bildrand verläuft. Die Winkel nehmen entgegen dem Uhrzeigersinn zu.

Ergebnisliste („Result List“)



Auf der rechten Seite der Benutzeroberfläche befindet sich die Ergebnisliste, mit der Sie schnell durch Ihre Ergebnisse navigieren. Sobald Sie ein Ergebnis aus der Liste auswählen, wird es auch in der Ergebnistabelle markiert, und die grafischen Ergebnisse ändern sich entsprechend.

Sie können mehrere Ergebnisse auswählen, kopieren und zur weiteren Auswertung in eine Excel-Tabelle einfügen.



Klicken Sie auf den kleinen Pfeil neben dem Eintrag oder doppelklicken Sie darauf, um die Ansicht zu erweitern und alle Ergebnisse anzuzeigen.

10.6 Punktgitter exportieren

Sie können drei verschiedene Punktgitter als CSV-Dateien exportieren.

Um ein Gitter zu exportieren, wählen Sie ein Bild in der Ergebnisliste oder in der Ergebnistabelle aus, klicken auf File → Save grid → wählen das gewünschte Gitter aus → navigieren zum gewünschten Speicherort → klicken auf Save.

Alternativ klicken Sie in der Werkzeugleiste auf die Schaltfläche „Save detected grid(s)“.

Verfügbare Gittertypen:

- **Detected grid:** Enthält die detektierten Punkte.
- **Reprojected grid:** Enthält die reprojizierten Punkte auf Basis der durchgeführten geometrischen Kalibrierung.

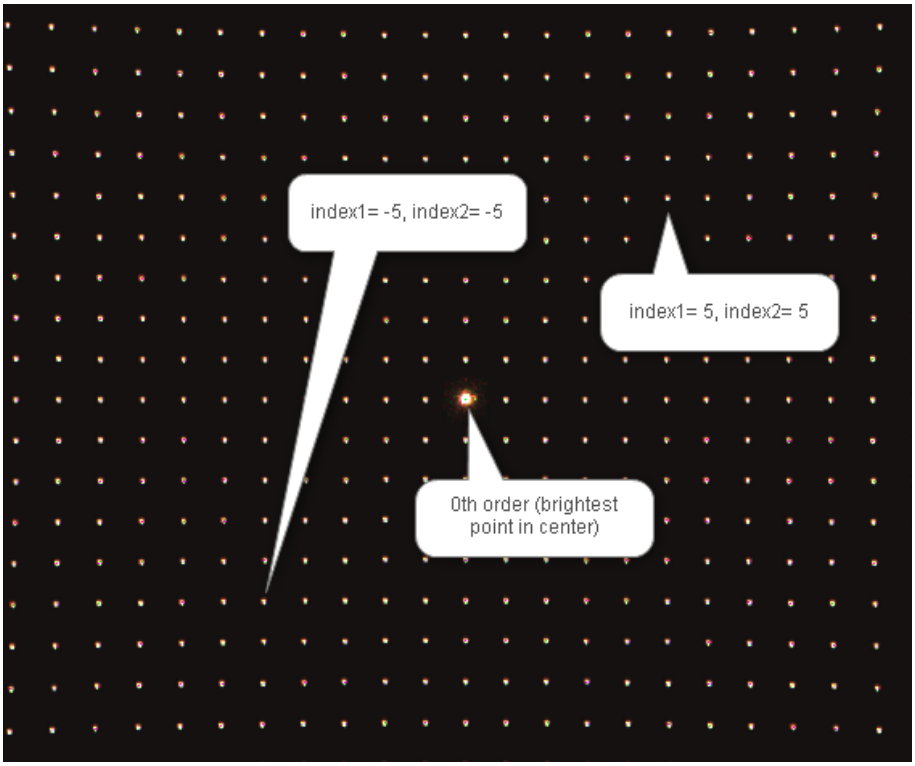
- **Undistorted reference grid:** Enthält das Referenzgitter ohne Objektivverzeichnung. Dieses Gitter enthält lediglich die durch die Physik des DOE bedingte Verzeichnung sowie die ermittelten extrinsischen und intrinsischen Parameter.

Alle CSV-Dateien haben denselben Aufbau, wie nachfolgend dargestellt.

width	height			
1920	1504			
index1	index2	x	y	found
-21	-17	0	0	false
-21	-16	0	0	false
-21	-15	0	0	false
-21	-14	0	0	false

Width und height sind die Bildabmessungen in Pixeln.

Index1 ist die Nummer der Ordnung in horizontaler Richtung, Index2 die in vertikaler Richtung; beide können je nach Lage im Bild relativ zur nullten Ordnung negativ oder positiv sein. Beispiel: index1 = -5, index2 = -5 liegt im linken unteren Quadranten, index1 = 5, index2 = 5 in der rechten oberen Ecke relativ zur nullten Ordnung.

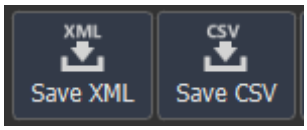


x und y sind die Koordinaten der Punkte im Bild; „found“ gibt an, ob der Punkt von der Software gefunden wurde (true) oder nicht (false).

10.7 Ergebnisse speichern

Sie können Ihre Kalibrierergebnisse wahlweise als XML- oder als CSV-Datei speichern. Wenn Sie mehrere Bilder analysiert haben, wählen Sie die Bilder, deren Ergebnisse Sie speichern möchten, in der Registerkarte „Result table“ oder in der Ergebnisliste rechts aus. Klicken Sie anschließend auf File → Save result → Save XML oder Save CSV → navigieren Sie zum gewünschten Speicherort → klicken Sie auf Save

Alternativ wählen Sie die Ergebnisse aus und klicken in der Werkzeugleiste oder am unteren Rand der Registerkarte „Analysis“ auf „Save XML“ bzw. „Save CSV“.



Wenn Sie mehrere Bilder ausgewählt haben, werden alle ausgewählten Ergebnisse in mehreren CSV- oder XML-Dateien gespeichert.

10.8 Log

Die Protokolldaten zu jeder Aktion erscheinen in der Registerkarte „Log“ auf der rechten Seite der Benutzeroberfläche. Dies kann bei auftretenden Fehlern oder zur Fehlersuche hilfreich sein.

10.9 Beenden („Exit“)

Klicken Sie auf File → Exit (Strg+Q), um die Software zu beenden, oder schließen Sie das Fenster.

10.10 Künstlich erzeugte Beispielbilder

Für jedes Verzeichnungsmodell stehen künstlich erzeugte Beispielbilder zur Verfügung.

C:\Users\Public\Documents\GEOCAL\Sample Images

Diese Bilder wurden synthetisch mit den folgenden Parametern erzeugt

Brennweiten [fx,fy]:	3030
Achsenschiefe (Skew):	0
Tangentiale Koeffizienten:	0
Bildhauptpunkt [u0,v0]:	[960, 752]
DOE-Parameter [Gitterkonstante, Wellenlänge]:	[43.9, 0.6328]
DOE- und Kamerawinkel [alpha, beta, omega, phi, kappa]:	0

Bild	Modell	Radiale Koeffizienten [1 bis 6]

simulate_model2.png	CUSTOM_MODEL_2	[1, 1, 1, 1, 1, 1] * 10^{-6}
simulate_modelf.png	FISHEYE_MODEL	[0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5]
simulate_modele.png	EVEN_BROWN_MODEL	[0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5, 0.5]

Um sich mit den verschiedenen Modellen und dem Zusammenspiel der Parameter in den Konfigurationsdateien vertraut zu machen, können Sie die für jedes Modell hinterlegten Standardkonfigurationen verwenden und die GEOCAL-Software auf die simulierten Bilder anwenden. Die Ergebnisse sollten den zur Erzeugung der simulierten Bilder verwendeten Werten sehr nahekommen.
Beachten Sie, dass die radialen Verzeichnungskoeffizienten abweichen können, da sie sich gegenseitig aufheben.

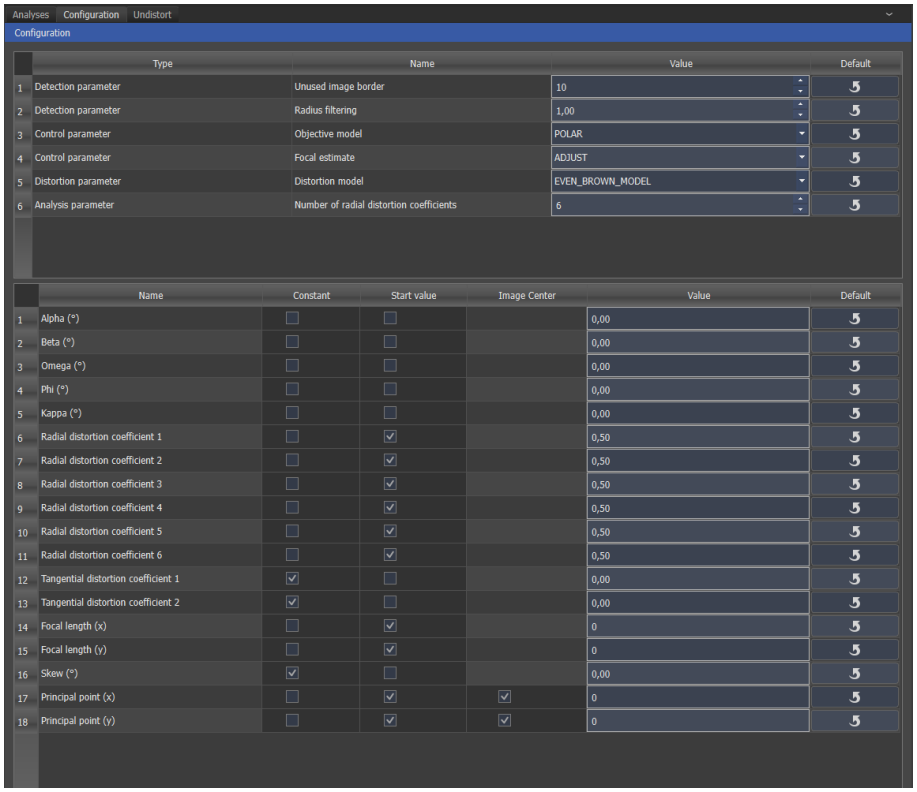
10.11 Konfiguration

Für GEOCAL / GEOCAL XL (Licht mit einer Wellenlänge von 638 nm) und GEOCAL IR (Licht mit einer Wellenlänge von 935 nm) werden mit der Software jeweils sechs Standard-Konfigurationsdateien im XML-Format mit unterschiedlichen Verzeichnungsmodellen ausgeliefert, die auf die jeweilige Laserwellenlänge der GEOCAL-Variante voreingestellt sind.

Beachten Sie: Wenn Sie einen älteren GEOCAL mit einer Seriennummer kleiner GC-10045 oder einen GEOCAL XL mit einer Seriennummer kleiner GC-XL-10013 besitzen, verfügt dieser über einen 633-nm-Laser; verwenden Sie in diesem Fall die entsprechenden Konfigurationsdateien.

Erfordert Ihr Kalibrierverfahren keine besonderen Einstellungen, können Sie eine der sechs Konfigurationsdateien passend zum gewünschten Verzeichnungsmodell auswählen. Andernfalls können Sie die Konfigurationseinstellungen im Bereich „Configuration“ anpassen.

Bereich „Configuration“ (Konfiguration)



Im Konfigurationsbereich lassen sich einige Parameter anpassen und eine eigene Konfiguration erstellen. Folgende Parameter können geändert werden:

Unused image border (ungenutzter Bildrand): Da manche Bilddateien Headerdaten enthalten können, lässt sich ein Randbereich um das Bild definieren, der bei der geometrischen Kalibrierung nicht berücksichtigt wird. Er kann außerdem angewendet werden, wenn es bei der Punktdetektion nahe dem Bildrand zu Problemen kommt.

Radius filtering (Radiusfilterung): Mit diesem Parameter wird ein relativer Radius (0,0 … 1,0) von der Bildmitte zu den Bildecken definiert. Detektierte Punkte, die außerhalb dieses relativen Radius liegen, werden bei der Analyse ignoriert. Ein Wert von 1,0 bedeutet, dass kein Punkt ausgelassen wird; ein Wert von 0,8 würde alle Punkte außerhalb eines Radius von 80 % der Diagonalen von der Bildmitte zur Ecke ausschließen.

Objective model (Zielfunktion der Optimierung):

Dieser Parameter legt fest, welche Zielfunktion während der Optimierung verwendet wird. Zur Auswahl stehen CARTESIAN, POLAR, POLAR2 und CONSTRAINED. CARTESIAN und POLAR verwenden eine Kostenfunktion, die den RMSE (Root Mean Square Error) zwischen den geschätzten und den detektierten Punkten minimiert. Beide werden geringfügig unterschiedlich berechnet, sollten aber zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Der Unterschied besteht darin, dass der MSE bei CARTESIAN dem mittleren Fehler in Delta X und Delta Y entspricht. Bei POLAR wird der RMSE als mittlerer Fehler des euklidischen Abstands zwischen geschätztem und detektiertem Punkt angegeben. POLAR2 führt eine zweistufige Optimierung durch: Zunächst wird der Fehler bezogen auf das Quadrat des MSE minimiert. Anschließend folgt eine zweite Optimierung zur Minimierung des MSE. Dies kann zu einer schnelleren Konvergenz und einem geringeren MSE führen. Die Option CONSTRAINED ist derzeit eine Beta-Option und wird noch evaluiert. Bei Auswahl dieser

Option werden die zu optimierenden Werte mit Nebenbedingungen belegt, um sicherzustellen, dass eine zulässige Lösung ermittelt wird.

Focal estimate (Brennweitenschätzung):

Dieser Parameter legt fest, wie das Verfahren zur Brennweitenschätzung verwendet wird. Ist in diesem Parameter Use="false" angegeben, wird die Brennweite nicht vorab geschätzt. Stattdessen wird der Schätzwert während der primären Optimierung bestimmt. Bei Use="true" stehen zwei Optionen zur Verfügung, auf die dieser Parameter gesetzt werden kann. Die eine ist FREEZE: In diesem Fall werden die in der Phase der Brennweitenschätzung ermittelten Werte festgehalten und dürfen in der primären Optimierung nicht verändert werden. Ist der Wert auf ADJUST gesetzt, können die während der Brennweitenschätzung ermittelten Werte in der primären Optimierung variieren. Die Startwerte für die Brennweite entsprechen dabei den während der Schätzung ermittelten Werten.

Distortion model (Verzeichnungsmodell):

Mit diesem Parameter wird das zu verwendende Modell ausgewählt. Die folgenden Modelle sind derzeit implementiert und für den allgemeinen Gebrauch freigegeben:

- EVEN_BROWN_MODEL
- FISHEYE_MODEL
- CUSTOM_MODEL_2 (Division Model)
- RATIONAL_MODEL
- OCV_RATIONAL_MODEL
- OCV_RATIONAL_CONSTRAINED_MODEL

Number of radial distortion coefficients (Anzahl der radialen Verzeichnungskoeffizienten):

Mit dieser Einstellung legen Sie fest, wie viele radiale Verzeichnungskoeffizienten verwendet werden sollen. Sie können Koeffizienten in der nachfolgenden Liste hinzufügen oder entfernen. Beachten Sie, dass eine sinnvolle Anzahl von Koeffizienten vom Modell abhängt. Zudem verbessert eine höhere Anzahl von Koeffizienten die Kalibrierung nicht automatisch, da dies zu Überanpassung (Overfitting) führen kann. Drei bis sechs Koeffizienten sind für eine gute Kalibrierung in der Regel ausreichend.

Alpha(°), Beta(°):

Diese Winkel beschreiben die Ausrichtung des diffraktiven optischen Elements zum einfallenden, aufgeweiteten und kollimierten Laserstrahl. Die Werte werden während des Optimierungsprozesses bestimmt und sind Teil der Ausgabeparameter. Sie können jedoch beispielsweise zur Fehlersuche auf null gesetzt werden. Diese Winkel sind GEOCAL-spezifisch und stehen nicht in direktem Zusammenhang mit der kalibrierten Kamera.

Focal length x und y (Brennweite x und y):

Die Brennweitenwerte des Prüflings in x und y werden während der Kalibrierung bestimmt und als Ergebnis in Pixeleinheiten ausgegeben. Sie können jedoch zur Fehlersuche auf einen festen Wert gesetzt werden.

Skew coefficient (Scherungskoeffizient):

Der Scherungskoeffizient ist standardmäßig auf 0 gesetzt. Er ist ungleich null, wenn die Bildachsen nicht rechtwinklig zueinander stehen.

Principal Point (Bildhauptpunkt):

Der Bildhauptpunkt beschreibt den Punkt, an dem die optische Achse des Kameraobjektivs den Bildsensor schneidet. Er wird während der Kalibrierung bestimmt und als Ergebnis ausgegeben. Er kann jedoch zur Fehlersuche auf einen festen Wert gesetzt werden.

Omega (roll), Phi (pitch), Kappa (yaw):

Diese Winkel beschreiben die Drehung des Prüflings gegenüber dem diffraktiven optischen Element. Die Werte werden während der Kalibrierung bestimmt und als Ergebnis ausgegeben. Sie können jedoch zur Fehlersuche auf einen festen Wert gesetzt werden.

Radial Distortion Coefficients 1-15 (radiale Verzeichnungskoeffizienten 1–15):

Die radialen Verzeichnungskoeffizienten, die die Verzeichnung modellieren, werden im nachfolgenden Beispiel als k_1 , k_2 , … bezeichnet:

$$x_{distorted} = x(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + ... + k_{15} * r^{30})$$

$$y_{distorted} = y(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + ... + k_{15} * r^{30})$$

Diese Werte werden während der Kalibrierung bestimmt und als Ergebnis ausgegeben. Sie können jedoch zur Fehlersuche auf einen festen Wert gesetzt werden.

HINWEIS
Wir empfehlen, die Anzahl der Verzeichnungskoeffizienten nicht höher als nötig zu wählen, da eine unnötig hohe Anzahl zu Artefakten durch Überanpassung („Overfitting“) führen kann.

Die üblichen Standardwerte für jedes Verzeichnungsmodell sind in der jeweiligen, mit der Installation gelieferten Konfigurationsdatei hinterlegt.

Tangential Distortion Coefficients 1+2 (tangentiale Verzeichnungskoeffizienten 1+2)

Die tangentialen Verzeichnungskoeffizienten werden im nachfolgenden Beispiel als p_1 , p_2 bezeichnet:

$x_{distorted} = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)]$

$y_{distorted} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy]$

Diese Werte werden während der Kalibrierung bestimmt und als Ergebnis ausgegeben. Sie können jedoch zur Fehlersuche auf einen festen Wert gesetzt werden.

Eigene Konfiguration erstellen

Um eine eigene Standard-Konfigurationsdatei zu erstellen, wählen Sie im Dropdown-Menü die Konfiguration aus, die Sie ändern möchten. Die Parameter und Werte im Konfigurationsbereich ändern sich entsprechend. Passen Sie nun die Werte an Ihre Anforderungen an und klicken Sie auf „Save configuration as…“, um sie zu speichern. Sie werden automatisch in den Ordner „User“ geleitet.

C:\Users\Public\Documents\GEOCAL\Models\User

Nach dem Speichern steht die Konfigurationsdatei im Dropdown-Menü zur Verfügung und kann auf eine geometrische Kalibrierung angewendet werden.

Die Standardkonfigurationen sind hier abgelegt und sollten nicht überschrieben werden:

C:\Users\Public\Documents\GEOCAL\Models\Default

10.12 Verzeichnungsmodelle

EVEN BROWN MODEL

Das **Even Brown Model** ist auch als das in OpenCV verwendete Brown-Conrady-Modell bekannt. Es beschreibt die radiale Verzeichnung durch eine Potenzreihe hoher Ordnung, wobei die Abbildung zwischen unverzeichneten und verzeichneten Koordinaten wie folgt definiert ist:

$x_{distorted} = x(1 + k_1*r^2 + k_2*r^4 + ... + k_{15}*r^{30})$

$y_{distorted} = y(1 + k_1*r^2 + k_2*r^4 + ... + k_{15}*r^{30})$

Dabei ist r der Radius, k_1 bis k_{15} sind die Verzeichnungskoeffizienten. Beachten Sie, dass die Anzahl der Koeffizienten üblicherweise geringer ist und individuell festgelegt werden kann. Eine höhere Anzahl von Koeffizienten kann zu Überanpassung (Overfitting) führen.

FISHEYE MODEL

Das Fisheye Model basiert auf dem in OpenCV verwendeten äquidistanten Projektionsmodell. Es beschreibt die radiale Verzeichnung als Polynom hoher Ordnung des Einfallswinkels θ. Die Abbildung zwischen dem idealen Einfallswinkel und der verzeichneten Winkelposition θ_d ist durch die folgende Formel definiert:

$\theta_d = \theta(1 + k_1*\theta^2 + k_2*\theta^4 + k_3*\theta^6 + k_4*\theta^8)$

Dabei ist θ der Winkel des einfallenden Lichts zur optischen Achse und k_1 bis k_4 sind die Verzeichnungskoeffizienten.

CUSTOM MODEL 2 (DIVISION MODEL)

Das Division Model stellt eine alternative Beschreibung der radialen Objektivverzeichnung dar. Anders als die übliche Polynomentwicklung verwendet dieses Modell eine rationale Funktion, um unverzeichnete und verzeichnete Koordinaten zueinander in Beziehung zu setzen. Die Abbildung von den idealen auf die verzeichneten Koordinaten ist wie folgt definiert:

$x_{distorted} = x / (1 + sign(k_1)*k_1*r^2 + sign(k_2)*k_2*r^4 + ... + sign(k_{15})*k_{15}*r^{30})$
$y_{distorted} = y / (1 + sign(k_1)*k_1*r^2 + sign(k_2)*k_2*r^4 + ... + sign(k_{15})*k_{15}*r^{30})$

Dabei ist r der Radius, k_1 bis k_{15} sind die Verzeichnungskoeffizienten.

OCV Rational Model

Das Rational Model in OpenCV dient der Kalibrierung stark verzeichnender Objektive wie Fisheye- oder Weitwinkel-Actionkameras.

Standard-Kameramodelle korrigieren die Objektivverzeichnung mit einfachen Polynomen. Bei extremen Weitwinkelobjektiven versagt diese Beschreibung jedoch an den Bildecken. Das Rational Model löst dies, indem es die radiale Verzeichnung als Quotient zweier Polynome (rationale Funktion) modelliert. Dieser Quotient verleiht dem Modell die Flexibilität, auch steile Verzeichnungskurven abzubilden, ohne instabil zu werden.

$x_{distorted} = x * ((1 + k_1*r\^2 + k_2*r\^4 + k_3*r\^6) / (1 + k_4*r\^2 + k_5*r\^4 + k_6*r\^6))$

$y_{distorted} = y * ((1 + k_1*r\^2 + k_2*r\^4 + k_3*r\^6) / (1 + k_4*r\^2 + k_5*r\^4 + k_6*r\^6))$

Rational Model

Basiert auf der Veröffentlichung „A Rational Function Lens Distortion Model for General Cameras“ von David Claus und Andrew W. Fitzgibbon.

Tangentiale Verzeichnung

In den Standardkonfigurationen wird nur die radiale Verzeichnung berücksichtigt. Die tangentiale Verzeichnung ist auf null gesetzt. Wird sie als variabel festgelegt, gilt für alle Modelle dieselbe Formel für die tangentiale Verzeichnung.

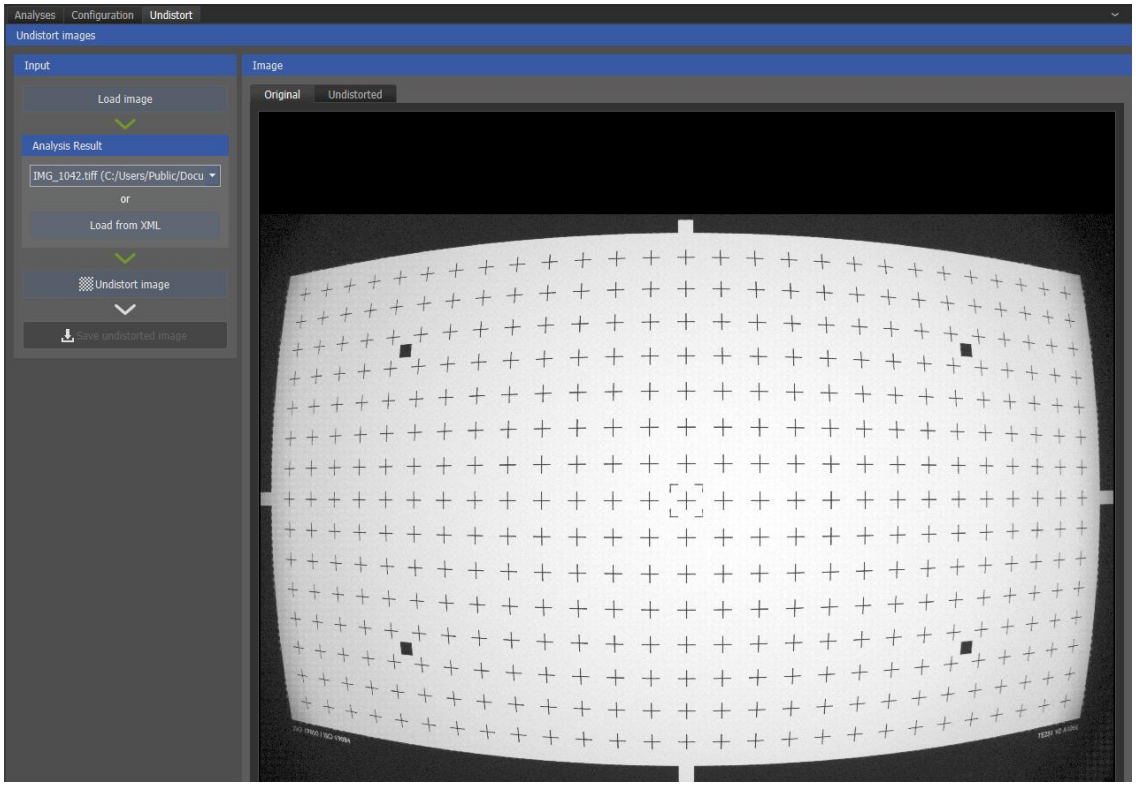
$x_{distorted} = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)]$

$y_{distorted} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy]$

10.13 Verzeichnungskorrektur von Bildern (Undistortion)

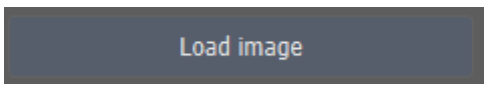
Für zwei Verzeichnungsmodelle – Even Brown und Fisheye – bietet die Software in der Registerkarte „undistort“ eine einfache Verzeichnungskorrektur. Damit können Sie die Genauigkeit der Messergebnisse visuell überprüfen.

Bitte beachten Sie, dass nicht jede Kalibrierung dieser Modelle zur Verzeichnungskorrektur angewendet werden kann. Beim Fisheye Model sind nur Kalibrierungen mit bis zu vier radialen Koeffizienten möglich. Tangentiale Koeffizienten werden dabei nicht berücksichtigt und null gesetzt. Beim Even Brown Model kann man Kalibrierungen mit bis zu drei radialen und zwei tangentialen Koeffizienten zur Verzeichnungskorrektur anwenden.



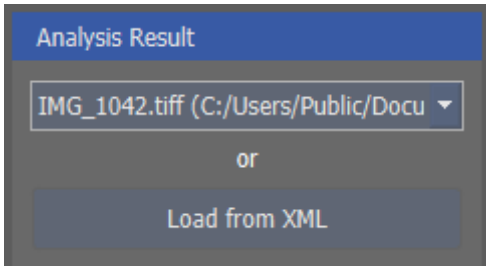
Zunächst müssen Sie eine geometrische Kalibrierung durchführen. Das Kalibrierergebnis steht anschließend im Dropdown-Menü zur Verfügung.

Laden Sie ein Bild, das gerade Linien oder andere gerade Strukturen enthält.



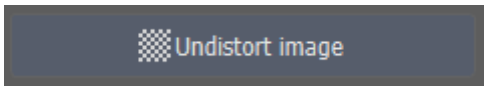
Beachten Sie, dass das GEOCAL-Gitter nicht äquidistant ist und sich daher nicht zur visuellen Beurteilung der Verzeichnung eignet!

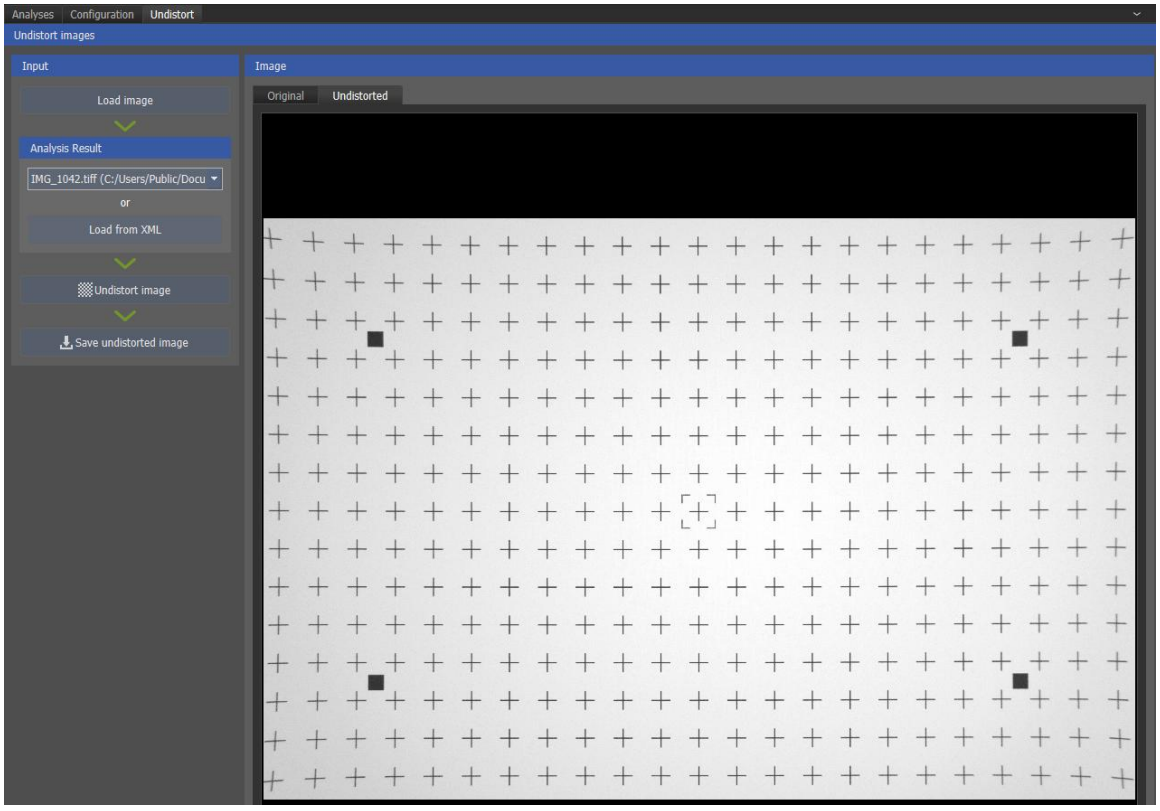
Wählen Sie nun das Ergebnis aus, das Sie anwenden möchten.



Sie können auch eine XML-Ergebnisdatei laden.

Klicken Sie auf „undistort image“, um den Vorgang zu starten.





Zur weiteren Dokumentation oder Bearbeitung können Sie das Bild speichern.

11 Kommandozeilen-Schnittstelle (CLI)

GEOCAL bietet eine CLI, um einfache Aufgaben zu automatisieren, etwa geometrische Kalibrierungen an einem Stapel von Bildern mit unterschiedlichen Konfigurationen. Dies kann zum Beispiel hilfreich sein, um die beste Konfiguration für Ihre Anwendung zu ermitteln

Wenn Sie C:\Program Files\Image Engineering\GEOCAL 1.5.0> geocal.exe -h in die Eingabeaufforderung eingeben, werden alle verfügbaren Befehle aufgelistet.

```
Options:
  -c, --config, --configuration <configuration>  Defines the configuration that
                                                 is used for this analysis. This
                                                 may be the name of a known
                                                 configuration in the UI
                                                 application or a path to
                                                 configuration file.
  -l, --configurationList                        Prints out a list of available
                                                 configuration names from
                                                 application for use with the -c
                                                 option.
  -x, --xml <xml>                                Defines the XML output file
                                                 names.
  -v, --csv <csv>                                Defines the CSV output file
                                                 names.
  --exportXML <exportXML>                        Defines whether a XML output
                                                 will be created (e.g.
                                                 --exportXML=yes)
  --exportCSV <exportCSV>                        Defines whether a CSV output
                                                 will be created (e.g.
                                                 --exportCSV=no)
  --configMode <configMode>                      Defines the configuration
                                                 processing mode (mixed or
                                                 iterativ)
  -m, --mergeImages <mergeImages>                Merge two image files (bright
                                                 and dark). Enter two image file
                                                 paths (e.g. -m imageBright.png
                                                 -m imageDark.png
  -?, -h, --help                                 Displays help on commandline
                                                 options.
  --help-all                                     Displays help, including
                                                 generic Qt options.
```

Ein Beispielskript für die Stapelverarbeitung finden Sie hier:

C:\Program Files\Image Engineering\GEOCAL 1.5.0\
GEOCAL_CLI_cross_analysis_batch_v1.5.bat

12 Störungsbehebung

12.1 Vorgehen bei Störungen oder Fehlern

Nehmen Sie GEOCAL bei einer Störung unverzüglich außer Betrieb.

Ziehen Sie dazu den Netzstecker aus der Steckdose.

Wenden Sie sich anschließend an den Support von Image Engineering.
(Siehe Kapitel 15.1 – Serviceadressen)

12.2 Stör- und Fehlermeldungen

Nachfolgend finden Sie einige Beispiele möglicher Fehler mit Lösungsvorschlägen.

Beobachtung	Möglicher Fehler	Mögliche Abhilfe
Kontroll-LED auf der Rückseite leuchtet nicht	Spannungsversorgung unterbrochen, Defekt im Gerät	Prüfen Sie alle Steckverbindungen. Besteht der Fehler weiterhin, testen Sie ein anderes Tischnetzteil oder wenden Sie sich an den Support von Image Engineering
Es wird kein Laserlicht ausgesendet	Laser ausgeschaltet, Laserhalterung durch Sturz oder Transportschaden intern dejustiert	Prüfen Sie die Stellung des Kippschalters auf der Rückseite sowie die Steckverbindung zum Netzteil. Besteht der Fehler weiterhin, wenden Sie sich an den Support von Image Engineering

12.3 Störungen beseitigen

Störungen, die sich nicht ohne Öffnen des Geräts beheben lassen, dürfen ausschließlich von durch Image Engineering geschultem Fachpersonal behoben werden.

Bitte wenden Sie sich an unser Support-Team.

13 Pflegehinweise und Entsorgung

13.1 Pflege

Sind Gehäuse oder DOE des GEOCAL verschmutzt, reinigen Sie diese mit einem trockenen Tuch.

HINWEIS
Achten Sie darauf, zur Reinigung des DOE stets ein sauberes Tuch zu verwenden, um Kratzer zu vermeiden, die andernfalls zu störenden optischen Effekten führen können.

13.2 Entsorgung und Recycling

GEOCAL muss am Ende der Nutzungsdauer ordnungsgemäß entsorgt werden. Das Gerät darf nicht über den Hausmüll entsorgt werden.

Möchten Sie GEOCAL entsorgen, senden Sie das Gerät bitte an Image Engineering zurück.

Benötigen Sie Unterstützung bei der Rücksendung oder wünschen Sie einen Rücksendeschein, wenden Sie sich bitte an eine der Serviceadressen von Image Engineering.

14 Technische Daten

Übersicht

Produktname	GEOCAL / GEOCAL XL / GEOCAL IR
Funktionsprinzip	DOE-basierte geometrische Kalibrierung digitaler Kameras

Hardware

Diffraktives optisches Element (DOE)	Erzeugt ein gleichmäßig verteiltes, aus dem Unendlichen projiziertes Lichtpunktgitter
DOE-Austrittsfenster	GEOCAL / GEOCAL IR: Ø 77 mm GEOCAL XL: Ø 155 mm (Durchmesser des Kameraobjektivs ≤ Austrittsöffnung)
Kompatibler Bildwinkel (FoV)	ca. 30 – 120° (größere Winkel je nach Kamera möglich. Sprechen Sie uns für Details an).
Abmessungen (L x B x H)	GEOCAL / GEOCAL IR: ca. 575 mm x 144 mm x 170 mm GEOCAL XL: ca. 850 mm x 244 mm x 270 mm
Befestigungspunkte	GEOCAL / GEOCAL IR: 3 x M5 x 0,8 Innengewinde in der Grundplatte GEOCAL XL: 10 x M5 x 0,8 Innengewinde in der Grundplatte

Beleuchtung
(WARNUNG: Sichtbare oder unsichtbare Laserstrahlung!)

Lichtquelle	Frequenzstabilisierte Laserdiode
Wellenlänge	GEOCAL / GEOCAL XL: 638 nm GEOCAL IR: 935 nm
Optische Leistung	5 mW
Laserklasse (nur Diode)	3B
Laserklasse (GEOCAL)	1M
Lebensdauer	>20.000 h
Aufwärmzeit	Nicht erforderlich

Software

Systemanforderungen	PC mit Betriebssystem Windows 7 (oder neuer), USB-Anschluss
Funktionen	Mehrere Aufnahmen laden Aufnahmen anzeigen Kalibrierung durchführen Detektiertes Punktgitter als Overlay anzeigen Verschiedene Methoden zur Ergebnisvisualisierung Ergebnisexport (CSV und XML) Export der Koordinaten detektierter Punkte (CSV)
Ausgabedaten	Extrinsische und intrinsische Kameradaten, Ausrichtung des DOE zum Laser
API (C++)	Optional separat erhältlich

Allgemeine Beschreibung der Hardware

Leistungsaufnahme	Pmax = 2 W bei 5 VDC
Anschlüsse	USB Typ B
Gewicht	GEOCAL / GEOCAL IR: ca. 4,5 kg GEOCAL XL: ca. 9 kg
Temperaturbereich	15 – 35 °C

Anforderungen an den Prüfling (DUT)

Max. Abmessungen	GEOCAL / GEOCAL IR: max. Durchmesser des Objektivs: 77 mm GEOCAL XL: max. Durchmesser des Objektivs: 155 mm
Nutzbarer Bildwinkel (FoV)	Ca. 30 – 120° (größere Werte je nach Kamera möglich. Sprechen Sie uns an.

15 Anhang

15.1 Serviceadressen

Bei Supportanfragen wenden Sie sich bitte direkt an uns:
support@image-engineering.de

Europa

Image Engineering GmbH & Co KG
Im Gleisdreieck 5
50169 Kerpen
Deutschland

Mo–Fr: 9:00 bis 17:00 Uhr (MEZ)

Tel: +49 2273 99 99 1-0

Email: info@image-engineering.de

USA

Image Engineering GmbH & Co. KG
Im Gleisdreieck 5
50169 Kerpen
Deutschland

Telefon: +1 408 386 1496

Email: sales@image-engineering.us

China

Shenzhen Image Engineering Optoelectronic Equipment Co, Ltd (IE China Subsidiary)
深圳艾宜光电设备有限公司 (IE中国全资子公司)
Room 1508, Chengshi Shanhai Pingji Center,
Pingxin North Road No.51, Pinghu Street,
Longgang District, Shenzhen City, China
深圳市龙岗区平湖街道平新北路51号城市山海平吉中心15楼1508室

Telefon
+86 158 8961 9096

Email: leon.xiao@image-engineering.com